



LES

EXPLOSIONS

DE

CHAUDIÈRES A VAPEUR

LEURS CAUSES — LEURS EFFETS

ET

EXAMEN CRITIQUE DES MOYENS PRÉVENTIFS

PAR

M. HERVIER

INGÉNIEUR CIVIL DES MINES

PRÉCÉDEMMENT

ATTACHÉ AU SERVICE DE SURVEILLANCE DES APPAREILS A VAPEUR

DU DÉPARTEMENT DE LA SEINE



PARIS

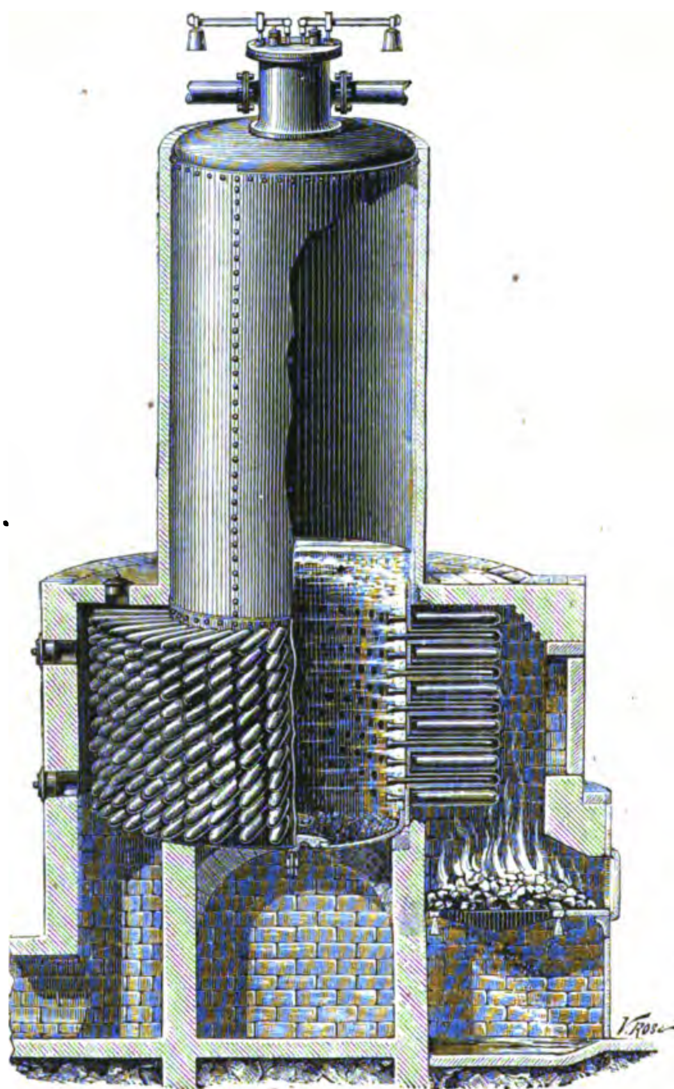
CHEZ L'AUTEUR, 37, RUE DE BAGNOLET

—

1894

GÉNÉRATEURS LE HÉRISSON B[tés] S. G. D. G.

Pour tous renseignements, s'adresser à
M. HERVIER, Ingénieur civil des Mines, 37, rue de Bagnolet, à PARIS



Les générateurs LE HÉRISSON présentés par MM. Imbert frères ont obtenu
à l'Exposition Universelle de 1889
LA MÉDAILLE D'OR

Composés essentiellement de nombreux tubes, d'une faible longueur, à dilatation libre, démontables et simplement emmanchés de l'intérieur sur une virole cylindrique, ces générateurs, tout en produisant une quantité de vapeur considérable, sont d'une solidité remarquable; des chaudières de ce type ont fonctionné pendant plus de dix ans sans réparations d'aucune sorte.

Ils n'ont jamais donné lieu à une explosion.

Ce sont les seuls multitubulaires qui permettent aux ouvriers de pénétrer dans l'intérieur pour les nettoyages et l'entretien, toutes leurs parties étant accessibles.

Les matières incrustantes se déposent au fond de la chaudière, lequel n'est pas soumis à l'action des flammes.

Grâce à la simplicité de leur construction et de leur installation, le prix des générateurs "LE HÉRISSON" est des plus restreints.

LES

EXPLOSIONS DE CHAUDIÈRES A VAPEUR

AVANT-PROPOS

On attribue souvent les explosions des chaudières à vapeur au manque de soins ou de surveillance, à l'incurie du chauffeur, au défaut des visites intérieures et extérieures. Ces négligences sont en effet redoutables par les avaries qu'elles entraînent ou qu'elles laissent subsister; mais il nous paraît préférable de rapporter ces accidents aux causes plus immédiates que nous divisons en neuf classes.

Nous distinguons :

Manque de résistance. .	de l'appareil neuf ; des réparations ; des accessoires ;
Diminution de la résistance produite par . .	l'usage ; la surchauffe ; les avaries accidentelles;

Excès de pression ;
Modification brusque dans l'équilibre du système;
Causes problématiques ou indéterminées.

Les moyens préventifs sont directs ou indirects ; nous examinerons les premiers avec l'étude des accidents qu'ils ont pour but d'empêcher. Nous commencerons par parler des moyens indirects : règlements, visites officielles ; et aussi du personnel qui est chargé de faire exécuter les prescriptions réglementaires. Nous terminerons par l'exposé d'une *méthode de liberté rationnelle* qui, selon nous, donnera le maximum de

sécurité en laissant toute liberté dans la construction et la conduite des chaudières à vapeur, mais en demandant aux intéressés de faire connaître les mesures qu'ils prennent pour éviter les explosions.

Cette étude est le fruit de quinze années passées dans le service de surveillance des appareils à vapeur du département de la Seine, années pendant lesquelles nous avons pu étudier de fort nombreuses explosions ainsi que les détails d'une réglementation que nous considérons comme très défectueuse.

Et, en raison de la gravité du sujet, il nous a paru nécessaire de nous appuyer sur les travaux d'Ingénieurs faisant autorité, parmi lesquels nous devons spécialement mentionner :

MM. E. Cornut, Haton de la Goupillière, J. Hirsch, Callon, Couche, Olry, Noblemaire, Nivoit, Vinçotte, Périssé, Richard et Baclé, Jutier, Walther-Meunier, Bour, Delaunay, Witz, Schmidt, Aguillon, Walckenaer, Testud de Beauregard, que nous citons au cours de notre étude, et qui, tous, se sont occupés de cette question si importante des explosions de chaudières à vapeur.

Enfin, les explosions étant avant tout des faits, toute discussion doit être accompagnée d'exemples. Ces exemples sont donnés d'abord par les relevés officiels des explosions, ensuite par les échantillons d'avaries constatées aux générateurs.

Nous avons choisi, plus spécialement, les échantillons réunis et exposés, en 1878 et 1889, par les Associations de propriétaires d'appareils à vapeur, sous la direction de M. E. Cornut, qui en a dressé un catalogue raisonné que l'on peut considérer comme classique.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

« A l'époque où l'étude des appareils à vapeur était moins avancée, « dit M. Hirsch, les accidents de chaudières, avec leur cortège de vic- « times et de désastres, offraient souvent quelque chose de terrible et « de mystérieux qui frappait vivement les imaginations; il n'est pas « fort étonnant que l'on ait eu souvent recours, pour les expliquer, « à des hypothèses bizarres ; on a fait intervenir l'état sphéroïdal, les « mélanges détonants, l'électricité, etc., en se fondant sur des analogies « plus ou moins lointaines avec des phénomènes constatés dans les « expériences de physique; et, acceptant d'emblée ces hypothèses « comme démontrées, on a proposé parfois des remèdes plus extraor- « dinaires encore que ces hypothèses elles-mêmes. » La caléfaction notamment, acceptée par les Ingénieurs des Mines qui ont toujours été chargés de l'étude des explosions, leur a servi à expliquer une partie de celles dont ils n'ont pu découvrir une autre cause.

Le mot « caléfaction » n'a pas toujours été prononcé ; on s'est servi plus généralement de l'expression administrative : « Accroissements « brusques de tension occasionnés par une circonstance accidentelle. » Mais cette circonstance accidentelle n'est autre que l'alimentation sur tôles portées à haute température caractérisant le phénomène de l'état sphéroïdal, ainsi que nous l'expliquons au chapitre *Caléfaction*.

Et, pas plus que la caléfaction elle-même, cet accroissement brusque de tension n'a jamais été effectivement constaté dans l'usage des chaudières à vapeur.

L'explosion d'une chaudière survenue, le 4 juillet 1864, à l'usine de Cotatay, pres de Saint-Etienne, a été instruite par M. Gonthier, Ingénieur des Mines, dont le rapport est inséré dans les *Annales des Mines*.

Ce rapport fait connaître que la chaudière, cylindrique horizontale, chauffée par les flammes perdues d'un four métallurgique, s'est rompue en quatre fragments ; quelques-uns de ces fragments ayant plu-

sieurs mètres de longueur, ont été projetés à de grandes distances, en causant d'importants dégâts dans l'usine.

Le mécanicien et un ouvrier puddleur ont été tués, trois autres ouvriers ont été blessés.

La mort du mécanicien a enlevé toute possibilité de faire une enquête sérieuse sur le fonctionnement de la chaudière au moment de l'accident ; cependant, après avoir constaté que cette chaudière avait été transformée à plusieurs reprises, que certaines ouvertures avaient été bouchées, d'autres pratiquées sur le corps cylindrique, etc., l'Ingénieur remarque qu'aucune déchirure ne s'est faite suivant les lignes des réparations et, après examen de certaines probabilités, il déclare que l'explosion est due à une injection d'eau faite sur des parties portées à une haute température par suite d'une interruption prolongée de l'alimentation. « *On ne voit pas*, ajoute-t-il, *quelle autre cause peut être assignée à l'explosion.* »

Si un pareil raisonnement est applicable aux sciences exactes, il ne peut l'être dans un cas d'accident de cette nature. L'absence de coup de feu caractérisé, l'importance des déchirures, des projections et des dégâts matériels devaient, il nous semble, faire supposer que la chaudière renfermait beaucoup d'eau ; d'autre part, l'ancienneté de l'appareil, les nombreuses transformations qu'il avait subies, les épreuves qui en avaient été la conséquence, formaient autant de raisons sérieuses en faveur d'une explosion par fentes, fissures, etc. ; et naturellement, dans ce cas, les parties les plus nouvellement rivées, plus solides que les anciennes depuis longtemps fatiguées, ont mieux résisté.

Le cas suivant est plus explicite encore : l'explosion de la chaudière tubulaire du bateau *l'Eclaireur* n° 2, survenue au port de Vaise, le 5 novembre 1853, a été produite par la déchirure de la partie supérieure de l'enveloppe qui s'est ouverte. Le rapport officiel donne, comme cause de cet accident, le défaut d'alimentation ; il fonde cette appréciation sur ce fait : « les tubes placés à la partie supérieure de la chaudière, « s'étaient plus ou moins courbés en tournant toute leur convexité vers « le haut, ce qu'explique naturellement, dit-il, la haute température à « laquelle ils ont dû être portés par une émersion antérieure à l'ex- « plosion. Aucune autre explication, ajoute-t-il, *ne nous paraît sus-* « *ceptible de rendre compte des faits observés*. »

Or voici un extrait du rapport fait par M. Noblemaire, Ingénieur des Mines, au sujet de l'explosion d'une chaudière de locomotive survenue dans des conditions semblables, le 7 juin 1859, qui détruit absolument

les bases sur lesquelles s'appuie le rapport précédent : « Aucun des « tubes n'a crevé ; ils ont tous, à très peu près, conservé leur « section circulaire ; leurs extrémités sont restées fixées aux plaques « tubulaires, intactes elles-mêmes ; mais ils ont été plus ou moins « courbés, ***surtout sur la longueur des anneaux déchirés.*** Sauf les trois « rangées inférieures, qui sont restées sensiblement horizontales, les « autres se sont infléchies dans des plans passant à très peu près par « l'axe de la chaudière... Ils se sont étirés et l'accident dont nous nous « occupons ***prouve nettement que cette flexion qui a affecté des tubes « bien manifestement baignés, n'est pas une preuve d'un manque « d'eau dans les chaudières,*** comme on l'a dit quelquefois. »

Ces méprises ont eu l'influence la plus pernicieuse sur l'étude des explosions et la recherche des moyens préventifs.

On peut comprendre que les Ingénieurs des Mines aient été trompés dans le principe ; mais il est bien extraordinaire qu'ils aient persisté pendant si longtemps dans leur erreur, sans demander à l'expérience industrielle (1) la confirmation du principe accepté par eux,

---

(1) « Des expériences de ce genre, dit l'auteur de l'article sur les explosions, dans le « *Dictionnaire encyclopédique* de Lami, ont eu lieu en Amérique sur l'initiative de « M. Francis Stevens en 1871 ; le gouvernement nomma une commission pour y « assister.

« La première chaudière soumise à une épreuve d'éclatement avait fonctionné pendant « treize ans sur le *Joseph-Belknap ;* elle fut d'abord essayée sous une pression hydraulique « de 7 atmosphères et demie qui fit sauter quelques rivets. Après réparation elle subit une « nouvelle épreuve à froid qu'on limita à 5 atmosphères et demie. Le 15 novembre, on « l'essaya à la vapeur ; on laissa la pression s'élever jusqu'à 4 atmosphères sans qu'il en « résultât aucune fracture ; le 22 novembre, on établit un niveau de 30 centimètres « environ au-dessus des tubes, on condamna la soupape de sûreté, mais, malgré tous « les efforts, on ne put réussir à faire monter la pression au-dessus de 6^{atm} 20, les « fuites autour du dôme de vapeur étaient trop abondantes.

« Une chaudière qui avait servi pendant vingt-cinq ans sur le *Bordentown* et pour « laquelle l'Inspecteur avait délivré un certificat permettant de la faire fonctionner à « 2 atmosphères servit à la troisième expérience. Elle supporta d'abord des pressions « hydrauliques de 4 atmosphères et de 3^{atm} 90 après réparation, puis une pression de « 3 atmosphères sous vapeur, pression à laquelle elle résista parfaitement pendant plusieurs « jours. Le 23 novembre, il fut décidé qu'on essaierait de faire éclater cette chaudière. « Les soupapes de sûreté furent calées et le niveau fut établi à 38 centimètres au-dessus « des tubes, on chauffa avec du bois ; lorsque la pression de la vapeur eut atteint « 1^{atm} 967, les observations commencèrent et donnèrent lieu aux résultats suivants :

« Temps : Midi. —	21′	23′	25′	27′	29′	30′	31′	32′	33′	34′
« Pression : Atm. —	1,967	2,233	2,499	2,732	2,967	3,100	3,233	3,333	3,468	3,566.

« A la pression de 3,333, quelques-unes des pattes ou des tirants furent arrachés avec

alors que de nombreuses explosions ont dû, tout au moins, leur laisser des doutes sur la solidité de leur opinion.

Leur avis a été naturellement prépondérant et, depuis longtemps, aussi bien dans l'enseignement classique que dans l'enseignement professionnel, le phénomène de l'état sphéroïdal appliqué aux chaudières à vapeur est passé à l'état de loi.

Suivant nous, il est bien fâcheux qu'on déclare encore actuellement aux chauffeurs que « les explosions dites *foudroyantes* et *fulminantes* « sont dues à un léger manque d'eau et que les explosions par *déchire-* « *ment,* obtenues en dépassant la pression maxima pour laquelle la « chaudière est timbrée, sont moins dangereuses ».

Cette erreur a eu des conséquences pratiques très regrettables; en donnant une importance exagérée au manque d'eau, on a négligé les autres causes d'explosion.

On lit dans le *Dictionnaire* de Larousse à l'article *Explosions* : « Une « première cause d'explosion, que l'on avait d'abord regardée comme « la seule, consiste naturellement dans le défaut de solidité de la chau- « dière. Aussi ne met-on plus en service, pour une pression détermi- « née, que les chaudières essayées à une pression beaucoup plus forte. « Ces essais préalables sont nécessaires; ils présentent toutefois un in- « convénient grave : on conçoit, en effet, et l'expérience justifie les « prévisions, que l'extrême tension que l'on fait subir aux parois de la « chaudière puisse changer d'une manière durable le mode naturel de « groupement des molécules qui les composent et altérer ainsi d'avance « leur cohésion.

« un grand bruit ; lorsque la pression eut atteint 3,566, la chaudière fit explosion avec « une violence terrible. Le dôme et une partie de l'enveloppe à laquelle il était attaché, « formant une masse d'environ 3,000 kilogrammes, furent projetés à une grande hauteur « et tombèrent à 140 mètres environ de l'endroit où la chaudière était placée. Le reste de « la chaudière était pour ainsi dire haché en menus morceaux, sauf le faisceau de tubes « qui demeura sur place ; les plaques de tête furent projetées dans des directions « opposées.

« Sept minutes avant l'explosion, les tubes indicateurs accusaient encore un niveau de « 38 centimètres au-dessus de la dernière rangée de tubes.

« Cette expérience montre qu'il n'est pas nécessaire que l'excès de pression soit très « considérable pour produire tous les effets d'une explosion fulminante ; il a suffi d'une « demi-atmosphère environ au-dessus de la pression que la chaudière avait supportée « impunément quelques jours avant ; que la pression d'éclatement a été inférieure de « $0^{atm}364$ à celle supportée lors de l'épreuve hydraulique (on avait déjà recueilli « quelques exemples du même genre) ; que le tout s'est produit avec un niveau d'eau « surabondant. »

« Mais la plupart des explosions proviennent de ce que certaines « parties des parois de la chaudière ne se trouvant plus, pendant quel- « que temps, mouillées à l'intérieur, atteignent à une température très « élevée, etc., etc. »

Il résulte clairement de cet article, ainsi que nous le prouverons du reste plus loin, que l'épreuve officielle détériore les chaudières et peut être considérée, par conséquent, comme une cause sérieuse d'explosion; mais l'auteur ne s'y arrête pas, parce que, dit-il, la plupart des explosions viennent du manque d'eau.

Cet exemple est loin d'être unique; mais, placé dans un ouvrage important et très consulté, il est la preuve de ce que nous disons ici.

On a même été à l'encontre du but cherché en multipliant le nombre des appareils indicateurs du niveau de l'eau : sifflets d'alarme, flotteurs de toutes formes et de tous systèmes, tubes en verre, on a tout essayé sans trouver une solution bien pratique; nous expliquerons d'ailleurs que l'usage du sifflet d'alarme nous paraît plus dangereux qu'utile, et que l'emploi simultané de deux indicateurs de types différents, loin d'être une cause de sécurité, est, au contraire, une source de dangers.

Le tube en verre, considéré comme le meilleur appareil, donne souvent des indications inexactes, fausses même; et dans beaucoup d'explosions on a constaté qu'il avait pu induire le chauffeur en erreur.

D'ailleurs, ce tube en verre est sujet à se casser, il blesse quelquefois le chauffeur, il le brûle plus souvent; cet ouvrier se fie donc trop au second indicateur, plus apparent en général, fonctionnant très bien la plupart du temps; mais qu'à un moment donné, pour une cause non prévue, cet appareil s'arrête, l'explosion se produit.

Et, chose bizarre, tout en paraissant ajouter la plus grande importance à ces appareils de sûreté, l'administration n'a pas tenu la main à leur bon fonctionnement. Il n'y a pas, à notre connaissance, un seul cas où les fonctionnaires des Mines aient constaté et poursuivi la contravention du non-fonctionnement d'un appareil indicateur lorsque le second fonctionnait.

Du reste, en général, les contraventions aux règlements concernant les appareils à vapeur ne sont pas poursuivies.

N'ayant pas de sanction sérieuse, les règlements sont illusoires, ils sont même ici dangereux aussi bien qu'ils sont imparfaits; ils

donnent à l'industriel une fausse sécurité, et, comme ils sont élaborés par les fonctionnaires qui les appliquent, ceux-ci ne peuvent ou ne veulent pas voir les dangers qu'entraîne, en certains cas, leur application.

Et, précisément, nous prouverons que l'épreuve par la presse hydraulique, excellente quand, sans avoir besoin de surélévation de pression, on s'en sert comme d'un moyen de découvrir certaines défectuosités, devient la source de graves avaries, lorsqu'on l'emploie, comme le demande le règlement, pour constater la solidité d'un appareil neuf, et surtout d'une chaudière ayant déjà servi.

PUISSANCE D'UNE EXPLOSION

Il résulte d'une étude de M. Hirsch sur le travail développé dans la détente adiabatique que, lorsqu'un récipient contenant un fluide à tension élevée vient à faire explosion, les effets mécaniques peuvent, toutes choses égales, être considérés comme proportionnels à la quantité de travail dégagé par le fluide, passant de la pression élevée qu'il possédait au moment de l'explosion à la pression atmosphérique. M. Hirsch trouve, dans ces conditions, que le travail développé dans la détente adiabatique de 1 000 kilogr. d'eau chaude est donné par le tableau suivant :

Température initiale en degrés centigrades.	Pression effective initiale en kilos par centimètre carré.	Travail développé en tonnes-mètres.
200°	14ᵏ86	7 880
180°	9ᵏ23	5 640
160°	5ᵏ29	3 700
140°	2ᵏ67	2 100
120°	1ᵏ00	853
100°	0ᵏ00	0

Le tableau qui suit indique le travail adiabatique de 1 000 litres de gaz comprimé :

Pressions initiales effectives en kilogrammes par centimètre carré	Travail développé en tonnes-mètres.
5	59
10	135
15	216
20	301
25	388
30	477
35	568
40	660
45	752
50	847
55	942
60	1038

Enfin, en comparant deux récipients contenant l'un 1 000 kilogr. d'eau chaude, l'autre 1 000 litres de gaz comprimé, et recherchant les pressions initiales qui donneraient les mêmes effets mécaniques au moment de l'explosion, M. Hirsch a trouvé les chiffres suivants, les pressions étant indiquées en kilogr. par centimètre carré :

Gaz comprimé	Eau chaude
5	0.07
10	0.15
15	0.24
20	0.34
25	0.44
30	0.55
35	0.66
40	0.77
45	0.88
50	1.00
55	1.13
60	1.26

Ces tableaux démontrent :

1° Que la puissance explosive de 1 000 litres de gaz sous pression est beaucoup moins forte que celle de 1 000 kilogr. d'eau chaude à une température engendrant la même pression ;

2° Que la puissance explosive de 1 000 kilogr. d'eau est énorme.

Cette puissance, développée presque instantanément, et se traduisant, suivant la capacité de la chaudière et la pression initiale, par des centaines, des milliers de chevaux-vapeur, explique facilement l'importance de tous les phénomènes constatés lors des explosions, sans qu'il soit besoin d'avoir recours à l'intervention de forces mystérieuses, comme on l'a fait trop souvent.

EFFETS DES EXPLOSIONS

Quand les circonstances veulent que toute la force vive que peuvent développer les éléments contenus dans une chaudière à vapeur produise son action sur les objets extérieurs, les effets mécaniques qu'elle engendre sont terribles :

A Carmaux, le 7 juillet 1843, une partie de chaudière, du poids de 1 800 kilogr., a été lancée à 430 mètres.

A Nîmes, le 7 août 1872, un générateur a été projeté à 24 mètres de distance en enfonçant deux murs de 0m60 d'épaisseur.

Le 19 mars 1878, à Dvoogenbosch (Belgique), un lessiveur a traversé deux murs dont l'un avait une épaisseur d'un mètre : les bâtiments furent détruits.

En 1843, à Bolton, une usine fut complètement rasée par l'explosion d'une chaudière à vapeur.

Le 26 décembre 1876, la fabrique de sucre de Saint-Hilaire-Cottes fut entièrement détruite par l'explosion d'une batterie de cinq chaudières : les débris furent lancés jusqu'à un kilomètre.

A Fridenshütte (Haute-Silésie), dans la nuit du 24 au 25 juillet 1887, 22 chaudières, faisant simultanément explosion, furent projetées, dans tous les sens, à de très grandes distances.

En faisant explosion, la locomotive Irk, lancée à une hauteur de 9 mètres, est allée retomber à 54 mètres de distance.

Une autre locomotive, projetée à 158 mètres, en passant par dessus les fils télégraphiques, a rebondi et a parcouru une nouvelle distance de 36 mètres.

Les dégâts matériels produits par les explosions sont quelquefois aggravés par la position des appareils en sous-sol, position que les règlements favorisent cependant, en autorisant leur installation près des maisons voisines.

« La difficulté d'expansion de la vapeur, dit M. Delaunay, doit, au « contraire, rendre plus violente sa force explosive, et l'ébranlement « communiqué aux fondations de la maison voisine risque d'en « provoquer l'écroulement. »

A l'hôtel du Parc central de Hartford (Connecticut), dans la nuit du 18 février 1889, une chaudière cylindrique tubulaire de cinq mètres cubes seulement de capacité totale, établie en *sous-sol* de l'hôtel, la devanture

du massif étant distante d'environ trois mètres du mur de façade, détruisait entièrement cette immense construction de quatre étages, ayant un développement de 31 mètres sur une rue et de 17 sur une autre.

La ruine fut complète, et on retira des décombres 23 morts et 10 blessés (1).

Ainsi ces accidents ne se bornent pas à des pertes matérielles, ils entraînent souvent de graves blessures et trop souvent aussi la mort des victimes.

Parmi les explosions qui ont fait le plus grand nombre de victimes, nous pouvons citer, d'après M. Haton de la Goupillière, celles survenues à :

Coppenansfort (Nord) 13 février 1884	14 tués.	2 blessés.
Le Citis (bateau à voyageurs) 13 février 1841 . .	11 —	9 —
Saint-Bernard (Aube) 19 juillet 1873.	12 —	9 —
Hartford (Connecticut) 18 février 1889.	23 —	10 —
Fridenshütte (Haute-Silésie) 24 juillet 1887. . .	12 —	35 —
Commentry (Allier) 8 septembre 1874.	22 —	32 —
Eurville (Haute-Marne) 10 novembre 1884. . .	22 —	33 —
Walsall (Angleterre) mars 1880.	27 —	28 —
La Thunderer (cuirassé anglais)	50 —	30 —
Marnaval (Haute-Marne) 31 mars 1883	30 —	61 —
La Revanche (cuirassé)	80 personnes atteintes.	

(1) M. l'Ingénieur des Mines Walckenaer qui a fait une note au sujet de cet accident, remarquant que la déchirure initiale part du trou d'homme supérieur, dit : « Il semble « permis de se demander si l'explosion n'a pas eu surtout pour cause la fatigue de cette « partie du générateur. » Mais il ne donne aucune raison indiquant une cause spéciale de fatigue en ce point.

La note nous apprend que cette chaudière, établie en 1883 pour fonctionner à la pression de 4 kilogr., fut rééprouvée en août 1888 pour marcher à une tension plus élevée. Cette épreuve qui a fait monter la pression à 8 kilogr. 4, est bien de nature à engendrer une fissure en ce point ; elle a pu, par conséquent, faciliter sinon provoquer l'explosion survenue six mois après.

Nous citons, au n° 43 de notre relevé, une explosion survenue un mois après l'épreuve officielle à la suite d'une déchirure ayant eu également pour principe l'un des trous d'autoclaves.

A propos de l'explosion si extraordinaire de 22 chaudières survenue le 24 juillet 1887, à Fridenshütte, M. l'Ingénieur en chef Olry, remarquant que les épreuves de toutes ces chaudières avaient été faites l'année précédente, n'hésite pas à les donner comme cause possible de l'explosion.

Il eût été très instructif que M. Walckenaer, suivant l'exemple de M. Olry, ait donné

Les personnes sont atteintes non seulement par les éclats des appareils rompus, ou par les débris des constructions démolies, mais encore par l'eau qui s'échappe ou la vapeur qui se dégage.

Bien plus terribles que les blessures occasionnées par le choc des matériaux, les brûlures produites par la chaleur de l'eau et de la vapeur pardonnent rarement.

Nous avons suivi de nombreuses explosions et nous avons toujours remarqué que les personnes ayant respiré une certaine quantité de vapeur, quoique paraissant légèrement atteintes, succombaient quelques jours après l'accident.

Lors d'une explosion survenue le 18 avril 1877, à l'usine à fer de Massempré (Ardennes), dix ouvriers atteints par la vapeur eurent la force de quitter le théâtre de la catastrophe ; malgré les soins qui leur furent prodigués, six d'entre eux succombèrent aux suites de leurs brûlures ; quatre seulement se sont rétablis.

« Le personnel affecté au service des chaudières, dit M. Delaunay, est « plus dangereusement exposé dans ces fosses sans autre issue souvent « qu'une étroite échelle, et qui portent en industrie le nom caractéris- « tique et mérité d'*Enfer ;* dans ces locaux, un accident peu grave en « lui-même, tel que la rupture d'un tube ou la fissure d'une tôle, par « exemple, peut avoir des conséquences terribles par suite des diffi- « cultés de dégagement qui retiennent le personnel à portée des « atteintes meurtrières de la vapeur et de l'eau bouillante. »

Mentionnons encore les personnes étrangères à l'usine frappées un peu partout, mais spécialement sur la voie publique, et que le règlement a oubliées, puisqu'il n'a prescrit ni distance ni mur de défense. « Ce « public-là, dit encore M. Delaunay, qui n'a aucun des bénéfices de « l'exploitation industrielle, doit être tenu à l'écart des dangers que « peut présenter cette exploitation ; c'est à l'Administration qu'incombe « ce devoir, et c'est à l'aide de règlements appropriés qu'elle doit le « remplir ; l'omission de la voie publique et des établissements ouverts « à la circulation du public constitue donc une lacune regrettable du « règlement de 1880. »

Le tableau statistique que nous donnons d'après M. Haton de la Goupillière indique, pour une période de vingt années, le nombre des explosions d'appareils à vapeur survenues uniquement en France, à l'exclusion de celles relatives à la marine militaire.

---

son avis sur la relation qu'il peut y avoir entre l'explosion de Hartford et l'épreuve qui l'a précédée de quelques mois seulement.

STATISTIQUE DES EXPLOSIONS D'APPAREILS A VAPEUR

SURVENUES EN FRANCE PENDANT UNE DURÉE DE VINGT ANNÉES, A L'EXCLUSION DE CELLES RELATIVES A LA MARINE MILITAIRE

INTERVALLES QUINQUENNAUX		APPAREILS ANNUELLEMENT EN SERVICE	EXPLOSIONS PENDANT LA PÉRIODE QUINQUENNALE	RÉPARTITION DES ACCIDENTS pendant la période quinquennale				NOMBRE DE VICTIMES PENDANT LA période quinquennale			MOYENNE par 100.000 APPAREILS			
				DÉFAUTS de construction	DÉFAUTS d'entretien	DÉFAUTS de fonctionnement	CAUSES indéterminées	TUÉS	BLESSÉS	TOTAL	EXPLOSIONS	VICTIMES: TUÉS	BLESSÉS	TOTAL
Chaudières	1866-70	35.295	70	13	20	35	9	94	106	200	40	53	60	113
	1871-75	44.017	105	41	43	37	10	125	158	283	48	57	72	129
	1876-80	57.538	119	27	50	46	6	134	172	306	42	47	60	109
	1881-85	72.617	123	28	54	63	5	154	199	353	34	42	55	77
Récipients	1866-70	25.820	16	3	0	12	0	10	9	19	12	8	7	15
	1871-75	23.205	24	12	4	12	1	21	21	42	21	18	18	36
	1876-80	22.153	28	9	6	13	3	30	27	57	26	27	25	52
	1881-85	22.429	34	9	11	19	1	16	13	29	30	14	12	26
Total	1866-70	61.115	86	16	20	47	9	104	115	219	28	34	38	72
	1871-75	67.222	129	53	47	49	11	146	179	325	38	43	53	96
	1876-80	79.691	147	36	56	59	9	164	199	363	37	41	50	91
	1881-85	95.046	157	37	65	82	6	170	212	382	33	36	45	81

Le nombre total des victimes a été, pendant cette période, de 1289, dont 584 mortes et 705 blessées. Ces chiffres sont terribles à constater. Nous devons même ajouter que le nombre des personnes atteintes est, en réalité, plus considérable ; car on n'a fait figurer, comme blessées, que celles ayant subi une incapacité de travail d'au moins vingt jours.

En se basant sur les chiffres des rapports entre le nombre des accidents ou des victimes et celui des appareils en service, on a conclu que la situation s'améliorait.

Même en interprétant les résultats statistiques dans ce sens, il faut avouer que l'amélioration est peu sensible. Mais on ne devrait pas oublier que les appareils nouvellement installés sont moins sujets à faire explosion que ceux établis depuis longtemps.

L'augmentation successive et rapide du nombre des chaudières à vapeur est de nature à fausser les interprétations des chiffres de cette statistique.

On s'en rendra facilement compte en examinant spécialement les chiffres du tableau statistique qui se rapportent aux récipients de vapeur.

Le nombre de ces appareils a constamment diminué pendant les quatre périodes quinquennales; cependant le nombre des accidents qui s'y rapportent n'a pas cessé d'augmenter.

Pour avoir un terme de comparaison en ce qui concerne les chaudières à vapeur, il suffit de remonter à quarante ans en arrière.

D'une notice sur les accidents d'appareils à vapeur présentée par M. Th. Lorieux, Ingénieur en chef des Mines, il résulte que, pendant la période vingintennale de 1827 à 1846, les explosions de chaudières à vapeur peuvent être réparties de la manière suivante :

INTERVALLES QUINQUENNAUX	CHAUDIÈRES ANNUELLEMENT en service	ACCIDENTS PENDANT la période quinquennale	MOYENNE PAR 100.000 chaudières
1827 — 1831. . .	812	4	99
1832 — 1836. . .	1.829	5	55
1837 — 1841. . .	4.939	6	24
1842 — 1846. . .	7.551	14	37

En appliquant, dans ce cas, le raisonnement précédent, on trouve également une amélioration très sensible pour chaque période quin-

quennale, amélioration bien naturelle, puisque, au commencement de cette période, l'usage des chaudières à vapeur était à peine entré dans la pratique industrielle, et les moyens préventifs des explosions bien peu connus.

En établissant un rapport entre les chiffres des deux périodes on trouve, pour la moyenne du nombre des explosions de chaudières à à vapeur, comparé à celui de 100,000 appareils annuellement en service, les chiffres suivants :

Période vigintennale 1827 — 1846 38
Période vigintennale 1866 — 1885 40

Les chiffres sont donc tout à l'avantage de la première période. La sécurité ne paraît donc pas avoir gagné ; elle semble, au contraire, avoir diminué.

Et, en définitive, quelle que soit la quantité d'appareils à vapeur en service, on est frappé du nombre des victimes faites par leurs explosions ; il nous paraît intéressant de les citer spécialement :

Périodes quinquennales . .	1866-70	1871-75	1876-80	1881-85
Nombre de victimes. . . .	219	325	363	382

Ce tableau indique le résultat le plus certain des chiffres de la statistique, et, il faut l'avouer, il est loin d'être rassurant.

RÈGLEMENTS

La France est la première nation qui se soit occupée à établir la réglementation des chaudières à vapeur et à imposer des mesures préventives contre les explosions.

Les règlements qu'elle a élaborés ont été adoptés par la plupart des autres puissances qui ont suivi son exemple, et ce serait actuellement faire un cercle vicieux que de s'appuyer sur l'existence de la réglementation étrangère pour la maintenir chez nous.

Les règlements qui régissent en ce moment le fonctionnement des appareils à vapeur sont. pour les appareils fonctionnant à terre: le Décret du 30 avril 1880, et, pour les chaudières fonctionnant sur les bateaux : le Décret du 9 avril 1883.

D'une façon générale, nous ne sommes pas partisan des règlements préventifs, et nous nous rangeons entièrement à l'avis de M. Delaunay quand il dit :

« Nous n'admettons pas l'obligation d'inspections préventives et « périodiques par des délégués du Gouvernement. Ces inspections « profitables et efficaces, lorsque les manufacturiers s'y soumettent « volontairement par leur libre adhésion à une association de surveil- « lance, cessent de donner les mêmes résultats, lorsqu'elles ne peuvent « plus compter sur le concours sincère et bienveillant des industriels, « et prennent, en même temps, un caractère inquisitorial qui suffit à « les faire proscrire. En outre, la responsabilité qui doit incomber au « chef d'industrie se trouve forcément atténuée dans une large mesure, « si sa liberté d'action et son initiative sont annulées par la direction « prépondérante attribuée à l'Administration. La constitution d'une « responsabilité effective nettement définie, incombant à celui qui fait « usage de la chaudière, nous paraît un élément essentiel et une garantie « nécessaire et efficace de la sécurité publique. »

Nous n'admettons pas davantage la fixation obligatoire des appareils de sûreté. Ces appareils ne sont que des moyens de contrôle, ils ne peuvent pas, par eux-mêmes, empêcher les explosions, quels que soient leur nombre et leur valeur. Il est donc préférable de laisser l'industriel

choisir, sous sa responsabilité, les moyens de contrôle qui lui paraîtront les plus convenables et les plus précis.

Enfin, les règlements donnent une sécurité trompeuse; l'industriel, de bonne foi, s'imagine être en pleine sécurité quand il a satisfait aux prescriptions réglementaires et, une explosion survenant, il est tout surpris d'apprendre que l'épreuve de sa chaudière n'était pas suffisante pour en constater la solidité, qu'il aurait dû prendre telles ou telles précautions supplémentaires, etc.

Un règlement ne peut pas contenir toutes les mesures de sûreté qui peuvent avoir une influence préventive sur les explosions; quelle que soit son étendue, il restera toujours incomplet.

Le DÉCRET DU 30 AVRIL 1880 nous semble, du reste, particulièrement défectueux. Bien que contenant trop de prescriptions non indispensables, il nous paraît:

INSUFFISANT.— Puisque: 1° il exonère le constructeur de toute responsabilité, l'épreuve une fois faite. La circulaire ministérielle du 1er mars 1865 dit bien que le fabricant doit s'imposer des règles et que, s'il y manquait, la justice lui demandera un compte sévère de sa négligence; mais cette circulaire n'a aucune valeur judiciaire, et on comprend difficilement qu'un constructeur puisse être inquiété, alors que l'appareil livré a supporté, avec succès, l'épreuve légale qui forme le critérium de sa solidité.

C'est ce qu'expliquent fort bien MM. Richard et Baclé quand ils disent que cette « épreuve a l'avantage de dégager la responsabilité des « Compagnies (de chemins de fer) pour toutes les explosions qui ne sont « pas dues à l'imprudence notoire du mécanicien ».

2° Il ne considère les soupapes de sûreté que comme des indicateurs de pression. Assurément ces organes devraient servir à évacuer la vapeur produite en trop grande abondance;

3° Il décharge de toute formalité tous les récipients au-dessous de 100 litres.

Il suffit de se reporter aux tableaux que nous avons donnés au début de cette étude pour s'assurer qu'un récipient contenant 90 litres d'eau à 160°, soit à la pression d'environ 5 kilogr., pourra développer un effort mécanique 70 fois plus considérable que s'il contenait 100 litres de vapeur à la même pression; celui-ci est cependant soumis à la réglementation, celui-là ne l'est pas.

SPÉCIEUX. — Car: 1° Il demande que le Préfet statue sur une contes-

tation d'épreuve entre l'Ingénieur des Mines et l'exploitant. Le Préfet ne peut contrôler la demande de l'Ingénieur des Mines, l'épreuve étant considérée comme le seul moyen de constater la solidité d'une chaudière, toute proposition de ce chef faite par l'Ingénieur des Mines sera un ordre, et le Préfet ne pourra que statuer dans ce sens;

2° Il réclame des clapets de retenue d'eau et des clapets d'arrêt de vapeur sans moyens pratiques d'en contrôler le fonctionnement.

ERRONÉ. — En effet: 1° Il considère l'épreuve comme garantissant la solidité d'une chaudière à vapeur;

2° Il réclame que, lors de l'épreuve, toutes les parties des chaudières puissent être visitées, ce qui est matériellement impossible pour certains systèmes de générateurs;

3° Il affirme que les parties de cheminée qui traversent le réservoir de vapeur ne sont pas sujettes à rougir, même lorsque le feu est poussé à son maximum d'activité.

Voici le texte du décret qui se rapporte à ce point très important :

ART. 10. — « Toute paroi en contact par une de ses faces avec la « flamme doit être baignée par l'eau sur sa face opposée.

« Le niveau de l'eau doit être maintenu, dans chaque chaudière, à « une hauteur de marche telle qu'il soit, en toute circonstance, à six cen- « timètres (0m06) au moins au-dessus du plan pour lequel la condition « précédente cesserait d'être remplie.

« La position limite sera indiquée, d'une manière très apparente, au « voisinage du tube de niveau mentionné à l'article suivant.

« Les prescriptions énoncées au présent article ne s'appliquent point:

« 1° Aux surchauffeurs de vapeur distincts de la chaudière;

« 2° A des surfaces relativement peu étendues et placées de manière « à ne jamais rougir, même lorsque le feu est poussé à son maximum « d'activité, *telles que les tubes ou parties de cheminée qui traversent « le réservoir de vapeur*, en envoyant directement à la cheminée prin- « cipale les produits de la combustion. »

Dans maintes circonstances nous avons vu rougir, sous l'action du feu, les parties extérieures des cheminées des chaudières verticales; il est indubitable que les parties de ces cheminées qui traversent la réserve de vapeur étaient également portées à la température du rouge.

Un nombre assez considérable d'explosions ont été causées par la déchirure du fond supérieur, provenant évidemment de la dilatation à haute température de la cheminée intérieure; et sans nul doute cette température était celle du rouge.

Notre relevé porte, sous le n° 45, l'explosion d'une chaudière verticale à foyer intérieur, survenue le 29 mars 1883, à Bordeaux, et qui semble avoir été produite par cette cause. L'Administration l'a classée dans la catégorie des explosions survenues pour *cause indéterminée*.

L'explosion d'une chaudière verticale tubulaire survenue le 8 juin 1878 à Paris est plus concluante encore ; car l'Administration en a connu la cause et l'a indiquée.

Cette chaudière, qui comportait 49 tubes verticaux en laiton, a tué le mécanicien par suite de l'écrasement d'un tube déchiré à sa partie supérieure ; un autre tube a été aplati sans déchirure.

La Commission centrale des machines à vapeur donne comme cause de cet accident : « l'abaissement de l'eau au-dessous du niveau normal. » Elle est donc assurée que les tubes ont été portés au rouge. Or, dans ces chaudières verticales tubulaires, en vertu de l'article 10 précité, le niveau normal est celui désigné par le bon vouloir de l'exploitant ; la cause indiquée ne serait donc sérieuse que si la déchirure s'était produite près du foyer ; elle a eu lieu, au contraire, à la *partie supérieure* des tubes ; c'est-à-dire dans la partie qui *constitue forcément* le réservoir de vapeur tel que le définit le décret.

Dangereux. — Puisque : 1° Il impose une surcharge trop forte pour l'épreuve hydraulique, soit pour les appareils neufs, soit surtout pour ceux qui ont déjà servi ;

2° Il permet d'augmenter le timbre d'une chaudière sous la seule condition d'une nouvelle épreuve. S'il est, en effet, de la prudence la plus élémentaire de ne faire fonctionner une chaudière neuve qu'à la pression pour laquelle elle a été construite, il est absolument dangereux d'augmenter cette pression de marche pour les appareils ayant déjà servi, et surtout de les soumettre, dans ces conditions, à la forte surcharge de l'épreuve ; plusieurs explosions l'ont, du reste, parfaitement démontré ;

3° Il autorise, à la distance de 1m50 d'une maison habitée, l'établissement en sous-sol d'une chaudière de première catégorie, ce que nous avons montré comme très dangereux en cas d'explosion ;

4° Il recommande de soulever les soupapes de sûreté, en cas d'excès de pression pour donner issue à la vapeur ; nous expliquerons que cette manœuvre peut amener une explosion ;

5° Il exonère les chaudières de toute condition d'éloignement de la voie publique ;

6° Il dispense les chaudières locomobiles des conditions d'emplace-

ment imposées aux autres. Il existe des chaudières locomobiles de toutes formes et de toutes catégories ; cette exonération n'a aucune raison d'être ; si une chaudière fonctionnant à poste fixe, après une installation soignée, entre les mains d'un personnel qui la connaît, est dangereuse, comment la pareille chaudière, installée provisoirement et conduite par un personnel essentiellement variable, ne le serait-elle pas ?

7° Il autorise le chauffage à feu nu des surchauffeurs de vapeur qui ont cependant, pour cette raison, causé beaucoup d'accidents (1).

ARBITRAIRE. — En effet : l'application de l'article 35 est une cause de favoritisme.

Cet article dit : Le Ministre peut, sur le rapport des Ingénieurs des Mines, l'avis du Préfet et celui de la Commission centrale des machines à vapeur, accorder dispense de tout ou partie des prescriptions du présent décret, dans tous les cas où, à raison soit de la forme, soit de la faible dimension des appareils, soit de la position spéciale des pièces contenant de la vapeur, il serait reconnu que la dispense ne peut avoir d'inconvénient.

Pour qui connaît l'influence du Corps des Mines au Ministère des Travaux publics, sa prépondérance dans la Commission centrale et la façon dont il interprète les dispositions du règlement, cet article signifie, comme le disait M. Cornut aux Ingénieurs en chef des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur, que le service des Mines a le droit de faire ce qu'il jugera convenable.

Et cependant les conséquences peuvent en être funestes.

Dans une lettre adressée, le 25 novembre 1892, au Ministre des Travaux publics, nous avons signalé plusieurs cas de cette nature parmi lesquels l'installation d'un générateur, qui depuis a occasionné une explosion, le 22 mars 1893, en faisant six victimes.

---

(1) Notre relevé ne comporte pas moins de quatre explosions de surchauffeurs de vapeur formant 8 % du nombre des accidents qu'il contient, savoir :

N° 18. — Explosion d'un récipient sécheur ou surchauffeur de vapeur, survenue le 27 octobre 1889, à La Goulette (Tunisie) ;

N° 33. — Rupture d'un tube surchauffeur survenue le 19 octobre 1886, à Thouaré (Loire-Inférieure) ;

N° 34. — Rupture d'un tube surchauffeur, le 9 octobre 1887, au Havre ;

N° 35. — Rupture d'un tube surchauffeur, le 16 octobre 1878, à Belle-Isle.

EXÉCUTION DES RÈGLEMENTS

C'est aux Ingénieurs des Mines qu'est confiée la mission de faire exécuter les règlements concernant les appareils à vapeur.

Les Ingénieurs en chef des Mines, à la tête des services particuliers, s'occupent très peu des chaudières à vapeur; ils visent les rapports des Ingénieurs ordinaires et donnent un simple avis en cas d'explosions. Plusieurs d'entre eux font partie de la Commission centrale des machines à vapeur instituée au Ministère des Travaux publics.

Les Ingénieurs ordinaires des Mines sont chargés du service actif.

L'ordonnance de 1843 exigeait que les épreuves d'appareils à vapeur fussent faites par les Ingénieurs des Mines, à l'exclusion de leurs agents.

Depuis 1865, les agents des Mines sont autorisés officiellement à les suppléer, mais seulement dans le cas de nécessité, disait la circulaire ministérielle. En fait, depuis cette époque, c'est le contraire qui a lieu, et les Ingénieurs des Mines ne font des épreuves qu'en cas de nécessité absolue. Il en de même des visites d'usines.

N'ayant aucune responsabilité, ils acceptent plusieurs services administratifs. Il est donc toujours facile aux Ingénieurs des Mines de s'appuyer sur l'importance des fonctions qu'ils remplissent pour se décharger presque entièrement sur leurs agents de la partie active de ces divers services et, en la négligeant, ils n'en peuvent connaître le côté pratique.

Cet état dégénère en défaut sérieux lorsqu'il s'agit d'une explosion d'appareil à vapeur.

Un accident survenant, les Ingénieurs des Mines n'ayant aucun guide sûr, et ne pouvant être aidés par la pratique qu'ils n'ont pas acquise, se trouvent dans l'embarras ; et, malgré leur talent, et peut-être même à cause de leur intelligence ou de leur imagination, ils commettent de graves erreurs là où les connaissances pratiques sont d'une nécessité absolue.

Du reste, les explosions sont relativement peu nombreuses, et les Ingénieurs, n'ayant à instruire que celles qui surviennent dans leur circonscription, n'ont chacun que de rares occasions de les étudier.

Après quelques années, ils s'échappent dans la grande industrie, prennent du service dans les Compagnies de chemins de fer, ou sont nommés de droit, à leur tour, Ingénieurs en chef ; ils n'ont plus alors à instruire les explosions, mais seulement à donner leur avis à la suite du rapport de l'Ingénieur ordinaire.

Cette situation a été souvent critiquée, et il nous paraît utile de rapprocher de notre avis celui, absolument pareil, de M. Vinçotte, qui estime, dit-il, que le système adopté pour « les enquêtes, en France, « en Belgique et en Allemagne, ne peut pas donner de bons résultats. « Lorsqu'une explosion se produit dans une circonscription, c'est « l'Ingénieur de cette circonscription qui fait le rapport. Il est de droit « supposé compétent. Or, souvent il n'a jamais vu d'explosions, et, en « général, il n'en a vu que très peu.

« Le résultat en est que la plupart des explosions restent inexpliquées « et que les enseignements qu'elles peuvent donner sont perdus.

« En outre, le doute empêche la justice d'agir, de sorte que l'insuffi- « sance des enquêtes annule ou diminue en pratique la responsabilité « des industriels, responsabilité qui est cependant le seul moyen de « leur faire connaître et suivre les règles de la prudence. »

Les agents des Mines, appelés autrefois Gardes-Mines et actuellement Contrôleurs des Mines, sont effectivement chargés des épreuves des chaudières à vapeur ; de l'inspection de ces appareils en marche ; de l'examen de l'emplacement qu'occupent les générateurs ; du contrôle des appareils de sûreté ; de la constatation des contraventions ; de l'examen des explosions ; de l'instruction des affaires diverses, plaintes, dénonciations etc. ; enfin de la préparation de tous les rapports, c'est-à-dire de tout le service.

Cette situation est sensiblement conforme aux usages administratifs ; mais ici elle a une importance spéciale, car le Corps des Mines étant fermé, les Ingénieurs sont d'emblée chefs de service, les Contrôleurs restent agents, sous la dépendance la plus absolue des Ingénieurs.

Les Contrôleurs, sans avenir, sont généralement sans véritable savoir. Si, plus que les Ingénieurs, ils peuvent acquérir une certaine pratique, l'absence de solides principes théoriques la rend insuffisante.

Pour eux, du reste, les épreuves sont des corvées ; les explosions des

travaux supplémentaires onéreux ; les visites de chaudières, des occasions d'obtênir des travaux privés ; la constatation et la poursuite des contraventions, une source d'ennuis.

Nous parlerons des épreuves dans un article spécial.

En ce qui concerne les inspections préventives, nous avons déjà fait remarquer que, faites officiellement, elles ne sauraient être profitables et efficaces; nous devons ajouter que, réglementairement, elles ne pourraient avoir de valeur qu'autant que les contraventions seraient toutes, sans exception, constatées lors de la visite et déférées aux tribunaux, comme le demande du reste le Décret, dont voici le texte :

Art. 37. — « Les contraventions au présent règlement sont constatées, poursuivies et réprimées conformément aux lois. »

Dans la pratique, ces constatations et poursuites sont au contraire exceptionnelles et n'ont guère lieu que lorsqu'il y a animosité de part et d'autre.

D'ailleurs, la possibilité de recevoir salaire des industriels, au sujet de travaux faits pour eux, et spécialement faits en vue des formalités qui leur incombent et dont l'absence ou l'irrégularité est condamnable, est peu compatible avec les poursuites.

Aussi, à la suite d'une terrible explosion, la Commission centrale, par l'organe de M. Luuyt, n'a-t-elle pas hésité à dire que :

« Cet exemple et d'autres encore semblent montrer que les Ingé-
« nieurs chargés de la surveillance des appareils à vapeur sont par-
« fois disposés à mettre en oubli les attributions qui leur sont confé-
« rées par les lois et règlements pour la répression des délits. Il
« convient de leur rappeler que, dans la limite de leurs fonctions, ils
« ont pour devoir strict d'éclairer et de seconder la pression correc-
« tionnelle qui reste, aujourd'hui, une des garanties les plus efficaces
« contre les imprudences qui mettent en danger les vies humaines. »

D'après ces indications, et si l'on considère que, suivant l'expression de M. Cornut, le service des Mines a, de par le Décret, le droit de faire ce qu'il jugera convenable, il est facile de se rendre compte du peu d'influence que peut avoir le règlement sur les explosions.

Nous, qui avons officiellement visité un nombre considérable d'appareils à vapeur, nous pouvons dire qu'il existe peu de chaudières fonctionnant dans les conditions strictement imposées par le règlement.

A l'époque où M. Cornut a fondé l'association des propriétaires d'appareils à vapeur du nord de la France, et dans ses visites faites pendant

le premier exercice, 1873–1874, il a trouvé un nombre très faible d'appareils de sûreté en bon état de fonctionnement. Les chiffres qu'il donne et qui se rapportent à 600 chaudières environ sont les suivants :

Manomètres en bon état de fonctionnement.	43 °/₀.
Soupapes de sûreté —	63 °/₀.
Indicateurs à tube de verre —	29 °/₀.
Nombre de chaudières marchant avec un seul indicateur d'eau au lieu de deux	65 (1).

Ces chiffres qui ne révèlent d'ailleurs qu'une certaine catégorie de contraventions sont très précieux; non seulement à cause de la personnalité de celui qui les a établis, mais encore parce qu'ils s'appliquent aux usines les plus remarquables du département du Nord et dont les appareils sont entretenus avec le plus de soin.

M. Cornut a donc pu ajouter qu'il ne croit pas se tromper en admettant que les appareils de sûreté du département du Nord qui sont en état n'atteignent pas la moitié des chiffres ci-dessus, ce qui confirme pleinement notre dire.

---

(1) A propos d'une explosion survenue à Coppenansfort (Nord) le 13 février 1864, M. l'Ingénieur des Mines, Le Verrier, dit :
« Contrairement aux prescriptions légales, il n'existait ni tubes en verre ni robinets « indicateurs du niveau de l'eau. Nous devons ajouter que ces appareils manquent malheu- « reusement sur la plupart des chaudières du département. »

SUITES JUDICIAIRES APRÈS EXPLOSION

Nous avons montré que les contraventions relevées lors des visites des agents des Mines n'étaient presque jamais constatées et déférées aux tribunaux. Mais, en cas d'explosion, les fonctionnaires s'ingénient à rechercher ces contraventions au règlement et à montrer qu'elles sont précisément la cause de l'explosion, d'où poursuites judiciaires.

Il faut avouer que c'est un peu tard, et, puisqu'il y a un règlement qui doit prévenir les explosions, il serait préférable de sévir avant plutôt qu'après l'accident.

A la suite d'une explosion, les tribunaux condamnent presque toujours l'exploitant lorsque la contravention est parfaitement reconnue ; mais, par contre, elle l'est rarement; car il est bien difficile d'établir, d'une façon précise et certaine, si les appareils de sûreté ne fonctionnaient pas convenablement au moment de l'accident. Une contravention ne peut guère être qu'une question de fait, et si on manque l'occasion de la constater quand on la relève en marche, on ne peut souvent pas le faire quand la chaudière a été brisée et les appareils de sûreté perdus, faussés ou dénaturés.

Sans doute, il reste à l'Administration la possibilité de montrer qu'il y a eu imprudence, soit par manque de solidité de l'appareil, soit par manque de soins, et de demander des poursuites pour blessures ou homicide par imprudence; mais, à cet égard, le règlement ne sert absolument à rien; au contraire, les magistrats, se basant sur ce fait qu'il y a un règlement, que ce règlement n'a pas indiqué d'une façon explicite le point présenté comme défectueux, peuvent souvent acquitter l'industriel poursuivi.

C'est précisément ce qui est arrivé à la suite de l'explosion survenue aux forges d'Eurville, où 22 ouvriers trouvèrent la mort et où 33 furent blessés.

Les poursuites judiciaires ont abouti en première instance et en appel à un acquittement sur le chef d'homicide par imprudence. Un des considérants du jugement du tribunal correctionnel de Vassy, en date du 22 avril 1885, confirmé par un arrêt du 17 juin de la Cour d'appel de Dijon, mérite d'être cité intégralement :

« En ce qui touche le revêtement réfractaire, attendu que, si le « défaut d'un revêtement réfractaire destiné à protéger les tôles du « coup de feu, est considéré comme la faute la plus lourde à reprocher « au prévenu, il y a lieu de remarquer que cette mesure si importante « n'a pas encore été prescrite aux propriétaires de chaudières verti- « cales; que l'Administration des Mines, émue des graves accidents « causés par l'explosion de chaudières verticales chauffées par la « flamme des fours aux forges de Clairvaux en 1873, à celles de Com- « mentry en 1874, a, en 1878 seulement, recommandé aux proprié- « taires de chaudières verticales l'établissement d'un revêtement en « maçonnerie réfractaire, qu'elle a renouvelé ces sages conseils après « l'explosion d'une chaudière verticale aux forges de Marnaval, *mais « qu'elle n'a pas encore transformé ces recommandations en prescrip- « tions obligatoires, probablement à cause des difficultés sinon de l'im- « possibilité d'appliquer cette mesure aux chaudières verticales actuel- « lement installées...* » acquitte... etc.

EXPERTISES JUDICIAIRES

Quelquefois, en vue des indemnités à allouer aux victimes ou à leurs ayants droit, le tribunal nomme un expert spécial pour l'éclairer par un rapport.

Cet expert est rarement un homme du métier, et, très souvent, il s'appuie lui-même sur le rapport des Ingénieurs des Mines, ou sur les constatations qu'ils ont faites.

C'est regrettable ; car, outre l'intérêt qu'il y aurait, en vue des victimes, à nommer, dans tous les cas, un expert, à le choisir parmi les spécialistes et à désigner toujours le même, autant que faire se peut, il serait extrêmement intéressant d'avoir, sur le même accident, deux rapports faits par des hommes du métier, agissant officiellement, et sous serment, en dehors les uns des autres.

En toute justice, il devrait en être ainsi, et la comparaison de ces rapports faite dans une réunion d'hommes compétents, comme la Commission centrale des machines à vapeur, pourrait être d'une utilité incontestable pour établir, dans chaque cas particulier, la cause véritable de l'accident, aussi bien qu'elle serait extrêmement profitable pour la recherche générale des causes d'explosions.

M. Vinçotte estime, comme nous, que chaque explosion qui a fait des victimes doit être l'objet d'une enquête judiciaire ; elle doit être immédiate. Lorsque l'enquête arrive trop tard, dit-il, les témoignages n'ont plus de valeur ; et les pièces de tôles sont détériorées par la rouille au point qu'un grand nombre de défauts sont cachés.

Sans doute, la divergence d'opinion des Ingénieurs nommés par l'État ou désignés par les tribunaux peut causer quelques surprises et ébranler la confiance que l'on a dans certaines autorités réputées infaillibles ; cependant la question est assez grave pour qu'il soit passé outre à ces appréhensions ; les hésitations, les incertitudes, les erreurs même que contiennent les rapports des Ingénieurs de l'État ne peuvent éclairer suffisamment les tribunaux ; et, quand il s'agit des vies humaines, il nous paraît nécessaire de ne pas s'arrêter à des considérations personnelles de cette nature.

Nous devons rappeler ici les divergences d'opinions qui se sont produites au sujet de deux explosions qui ont eu un retentissement assez grand.

A la suite de ces explosions survenues à Paris, l'une dans la raffinerie Say, le 23 août 1886, à une chaudière cylindrique avec quatre bouilleurs juxtaposés, ayant causé la mort de cinq ouvriers; l'autre, dans la raffinerie Lebaudy, le 25 octobre 1886, à une chaudière cylindrique à deux bouilleurs et deux réchauffeurs latéraux qui a brûlé mortellement un ouvrier, le tribunal de la Seine a nommé deux experts, dont l'un, M. S. Périssé, Ingénieur des Arts et Manufactures, vice-président de la Société des Ingénieurs civils, membre de la Commission centrale des machines à vapeur, a traité la question, d'une façon très étendue, dans deux notes qui ont été publiées dans le *Bulletin de la Société des ingénieurs civils.*

Les rapports des Ingénieurs des Mines donnent, comme cause de ces explosions, le manque d'eau. M. Périssé prouve que ces chaudières étaient, au contraire, abondamment pourvues d'eau, et qu'il faut attribuer les explosions à toute autre cause, ainsi que nous l'expliquons plus loin.

Cet exemple n'est-il pas suffisant pour montrer la nécessité d'une enquête judiciaire complètement indépendante de celle de l'État?

ASSOCIATIONS DE PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR

Les Associations de propriétaires d'appareils à vapeur que l'on peut considérer actuellement en France comme des institutions solides, ayant fait leurs preuves, ont pour but principal de prévenir les accidents et les explosions d'appareils à vapeur.

Formées par les chefs d'industrie, propriétaires d'appareils à vapeur, elles sont administrées par un conseil composé des industriels les plus autorisés et dirigées par un Ingénieur en chef nommé par le Conseil d'administration.

L'Ingénieur en chef nomme à son tour le personnel dont le concours lui est nécessaire, notamment les Inspecteurs.

Les Ingénieurs en chef des diverses associations françaises se réunissent en congrès une fois par an. Dans les séances, ils lisent et discutent les notes et les études faites pendant l'année par chacun d'eux sur les questions à l'ordre du jour.

Les comptes rendus des séances de ces congrès contenant, en outre, les faits les plus saillants constatés pendant l'année, ainsi que les observations les plus intéressantes, sont des documents d'une utilité incontestable ; ils forment déjà le plus important recueil qui existe sur cette matière.

Pour atteindre le but proposé, les Inspecteurs des associations font tous les ans deux visites : la première est extérieure, elle consiste dans l'inspection de toutes les parties visibles de la chaudière, des appareils de sûreté et d'alimentation, et enfin de la conduite du feu ; la seconde, intérieure, consiste dans une inspection complète des carneaux, de la chaudière et des accessoires. Les Inspecteurs tâtent les tôles au marteau et les sondent, s'il y a lieu.

« Ces visites intérieures des générateurs, dit M. Cornut, c'est-à-dire « l'inspection minutieuse faite par les associations, des tôles, des clouures, « des assemblages à l'extérieur et à l'intérieur, sont le seul moyen pra- « tique, reconnu comme efficace, pour arrêter le mal quand il s'est produit « et prévenir ainsi la première cause si importante des explosions. »

A la suite de chaque visite, tant extérieure qu'intérieure, l'Ingénieur en chef de l'association adresse au propriétaire un rapport écrit, détaillé, sur l'état de l'appareil visité.

Ces rapports signalent les fuites, les corrosions internes et externes, les fentes, cassures, défauts des rivures, déformations des parties; ils contiennent l'appréciation de l'Inspecteur et de l'Ingénieur en chef sur la solidité de l'appareil et indiquent les réparations à faire, les améliorations à apporter, les précautions à prendre.

Ce rôle est parfait. L'Administration en a reconnu l'importance et, pour l'appuyer, elle a imposé l'obligation de semblables visites. L'article 36 du décret du 30 avril 1880 dit en effet :

« Ceux qui font usage de générateurs ou de récipients de vapeur « veilleront à ce que ces appareils soient entretenus constamment en « bon état de service.

« A cet effet, ils tiendront la main à ce que des visites complètes, « tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, soient faites à des intervalles rap- « prochés pour constater l'état des appareils et assurer l'exécution, en « temps utile, des réparations ou remplacements nécessaires. »

Mais cet article, ne précisant pas la fréquence des visites et ne définissant pas le « bon état de service » qu'il réclame, laisse une trop large part à l'arbitraire.

Du reste, les fonctionnaires des Mines, ne faisant eux-mêmes aucune visite intérieure, ne peuvent constater si les chaudières sont en bon état de service; par conséquent, en temps ordinaire, cette prescription ne peut avoir aucune sanction pratique; mais, en cas d'explosion, elle constitue une arme terrible contre le propriétaire des chaudières à vapeur.

Depuis quelques années, l'action des associations s'est étendue; une circulaire ministérielle du 23 août 1887, sur l'exécution des épreuves réglementaires, autorise les inspecteurs à assister à l'opération et à procéder ensuite à une visite intérieure qui fait l'objet d'un certificat spécial.

Et dans la pratique, il est arrivé :

1° Que des appareils ayant bien subi la pression d'épreuve n'ont pas été timbrés par suite de défauts trouvés dans la visite effectuée par l'inspecteur de l'association pendant l'épreuve;

2° Que des épreuves ayant bien réussi, les appareils ayant été timbrés par le service des Mines, l'Administration a refusé le certificat

à la suite de défauts trouvés dans la visite intérieure faite par l'inspecteur de l'association après l'épreuve et, par suite, a annulé l'épreuve.

Dans un chapitre spécial, nous établissons que l'épreuve à haute pression des chaudières à vapeur, tout au moins de celles ayant déjà servi, est une cause sérieuse d'altération du métal et de détérioration de l'appareil; mais les renseignements qui précèdent montrent, en outre, de la manière la plus évidente, que l'Administration ne peut par elle-même reconnaître les défauts que doit révéler ou qu'engendre l'épreuve.

L'action des associations est ici précieuse ; elle atténue en partie les fâcheux effets d'une opération dangereuse, et il est à désirer pour la sécurité publique qu'elle devienne générale.

L'administration ferait un acte encore plus logique et même plus légal en exonérant de cette formalité les chaudières soumises à la surveillance des Ingénieurs des associations. Une mesure analogue a déjà été prise en Alsace-Lorraine où, d'après le § 4 de l'ordonnance du 3 novembre 1884, « les épreuves faites par les agents d'associations de « surveillance d'appareils à vapeur reconnues par l'État, sont valables « au même titre que les épreuves officielles. »

Du reste, les résultats sérieux obtenus par ces associations indiquent leur incontestable utilité et montrent que la confiance des industriels dans les Ingénieurs de leur choix est bien préférable aux moyens coercitifs pour leur faire accepter les mesures propres à éviter les explosions.

En fait, dans plusieurs pays voisins, les chaudières dont les propriétaires font partie d'associations procédant à une surveillance régulière des générateurs à vapeur, sont exemptées du contrôle officiel.

Personnellement, nous avons une telle confiance dans l'action des associations que nous en avons fait la base de notre méthode de liberté rationnelle.

CHAUFFEURS-MÉCANICIENS

Quand on examine tout ce qui constitue le service du chauffeur, on est surpris de la quantité de travail et de soins qu'on exige de lui.

D'abord, quand il ne fait qu'office de chauffeur, il a ordinairement plusieurs chaudières à entretenir ; s'il n'en a qu'une, il conduit la machine.

Le chauffeur doit arriver à l'usine longtemps avant les autres ouvriers ; il en sort toujours le dernier ; et, même pendant les heures des repas, il ne doit pas quitter sa chaudière.

Son travail surpasse donc en durée celui de tout autre ouvrier.

Sa besogne est, ensuite, particulièrement pénible : placé dans une fosse profonde à laquelle on a donné le nom caractéristique d'*enfer*, tant à cause de la chaleur intense qui s'y développe que par suite de l'air vicié et mélangé de poussière qu'on y respire, il est souvent obligé de gravir à chaque instant une haute échelle pour remplir les divers services qu'on réclame de lui.

Sa position est dangereuse autant que pénible : la mise en train de la machine en poussant au volant, le graissage de tous les organes en marche ainsi que celui des transmissions, la pose des courroies sans arrêt des poulies, etc., sont des travaux fort dangereux. La vapeur s'échappant des soupapes, les gouttes d'eau bouillante tombant des robinets, le bris du tube indicateur, brûlent ou blessent le chauffeur. Quand une explosion survient, c'est lui qui est d'abord atteint, et, ainsi que nous l'avons dit, les brûlures de l'eau bouillante et de la vapeur ne pardonnent guère dans ce cas.

Mais, dit-on, ces explosions sont produites, la plupart du temps, par l'incurie du chauffeur.

En principe, nous ne croyons pas à une pareille incurie, le chauffeur craint le danger comme toute autre personne, et ne pousserait pas sa négligence jusqu'à exposer sa vie.

Mais le chauffeur, tué lors de l'accident, ne peut se défendre ; et, lorsqu'il survit, on ne croit généralement pas à ses affirmations ; il est donc toujours bien facile de l'accuser d'une négligence qui est, dans tous les cas, une explication commode de l'accident.

Le rapport officiel sur l'explosion d'un lessiveur sphérique, survenue, le 22 mai 1867, à la papeterie de l'Abbaye, porte la mention suivante :

« L'explosion a eu lieu de nuit; les circonstances en sont restées « inconnues.

« Cause présumée de l'explosion : inconnue. (*Très probablement,* « *incurie du chauffeur.*) »

Tout commentaire serait superflu !

Nous avouons, cependant, que le chauffeur est quelquefois imprudent; mais cette imprudence est toujours basée sur quelque raison que nous allons mentionner et, surtout, sur la crainte de perdre sa place.

Il paraît très simple de dire que, dans certaines circonstances, le chauffeur doit jeter bas les feux, suspendre le fonctionnement de la machine, soulever les soupapes de sûreté, etc., mais, dans la pratique, le propriétaire ne l'entend pas ainsi; il faut que son usine marche, et, si elle ne fonctionne pas, le chauffeur est un incapable et doit être congédié.

Les industriels sont autorisés à le croire par les affirmations d'ingénieurs qui ont traité ce sujet.

Quand le chauffeur ne voit plus l'eau dans le tube en verre, dit M. Callon, Inspecteur général des Mines, dans son *Cours de Machines,* « il doit, sans hésiter, *ouvrir en grand la porte du foyer et jeter bas les* « *feux.*

« Il ne se décide pas toujours à cette extrémité, pour ne pas trou- « bler le travail de l'usine, et dénoncer lui-même sa propre négligence. « Mais, s'il ne le fait pas, il court le risque d'occasionner un accident « dont il aura la responsabilité directe, à moins qu'il n'en soit lui-même « la première victime. »

Cette manière de voir est inexacte. En admettant que la négligence du chauffeur soit une cause sérieuse de l'abaissement extraordinaire du niveau de l'eau, ce que nous contestons, elle est loin d'être la seule, comme nous le prouverons.

Dès lors, en autorisant l'industriel à admettre que, *dans tous les cas,* l'abaissement du niveau provient de la négligence du chauffeur, c'est forcer ce chauffeur, *dans tous les cas,* à ne pas jeter bas les feux, c'est-à-dire l'engager à faire le contraire de ce qu'on lui demande.

C'est très regrettable.



Suivons le travail du chauffeur.

L'allumage du feu, le graissage de la machine et des accessoires sont ses premiers soins du matin ; de grandes précautions lui sont déjà recommandées, tant pour éviter l'augmentation brusque de la chaleur produisant des avaries à la chaudière, que pour parer aux dangers pouvant être occasionnés par les matières qui se sont déposées, pendant l'arrêt de la nuit, sur les tôles placées au-dessus du foyer ; enfin, pour ne pas laisser dépasser la pression du timbre, la machine n'étant pas encore en activité.

Mais, dès le début du chauffage matinal, se présente une circonstance grave : les appareils du niveau peuvent ne pas indiquer l'eau.

Cet abaissement du niveau provient d'abord de la diminution de volume du liquide produite par le refroidissement nocturne et proportionnelle à l'abaissement de température ; il peut provenir encore d'une vaporisation qu'a occasionnée la chaleur emmagasinée par le fourneau, ou de la condensation de la vapeur existant dans certaines parties du générateur qu'on a désignées sous le nom de chambres de vapeur, ou enfin de fuites qui se déclarent à la chaudière.

Quelques-unes des circonstances qui produisent l'abaissement nocturne du niveau de l'eau sont normales, mais elles sont variables avec le type et les dimensions de la chaudière ; le chauffeur doit les connaître et en apprécier l'importance, à moins d'être réellement incapable ; mais la négligence doit être ici écartée, le chauffeur, quel qu'il soit, a certainement laissé de l'eau la veille dans sa chaudière à un bon niveau.

Les autres circonstances sont anormales, l'ouvrier ordinaire n'y songe pas, le chauffeur très capable peut seul les prévoir, et, quelquefois, mais rarement, les prévenir.

La chaudière n'étant jamais, pour ainsi dire, munie d'appareils indiquant le niveau de l'eau quand il est inférieur à la garniture du tube, le chauffeur ignore alors où se trouve ce niveau.

Que doit-il faire ? Prévenir le propriétaire ? Bien que cette situation ne provienne pas de sa négligence, il serait congédié immédiatement.

Dans la pratique, le chauffeur allume le feu comme à l'ordinaire, et, dès que la pression est suffisante, il fait fonctionner l'appareil alimentaire jusqu'à ce que l'eau soit remontée à son niveau normal.

Si l'eau s'était par trop abaissée, un chauffeur capable s'en rendrait compte assez rapidement, par la lenteur, bien plus grande qu'à l'ordinaire, de la mise en pression ; il se déciderait alors à mettre bas les

feux. Un mauvais chauffeur ne le remarquera pas, et la tôle recevra un coup de feu.

Ainsi, à propos de l'explosion d'une chaudière cylindrique verticale, chauffée par les flammes perdues d'un four à réchauffer, survenue le 5 novembre 1877, aux forges de Firminy, et qui a blessé trois ouvriers, le rapport officiel a constaté que « la chaudière s'était vidée pendant « la nuit précédente. On a cru le manque d'eau moins considérable et « on a alimenté : les parois rougies ont cédé facilement à une pression « ordinaire ».

Les chaudières à foyer intérieur sont très sujettes à pareil accident.

Une circonstance plus fâcheuse se présente quelquefois lorsqu'il s'agit d'une chaudière cylindrique ordinaire, ou mieux encore tubulaire, munie de bouilleurs réchauffeurs latéraux.

Ces réchauffeurs peuvent se vider, soit par suite de fuites, soit pour toute autre cause, et le corps de chaudière peut contenir de l'eau à niveau convenable. Ces bouilleurs ne possèdent généralement pas d'indicateurs de niveau, de sorte que le chauffeur ignore absolument les conditions dans lesquelles se trouve le générateur.

Après la mise en marche de la machine, dès que le niveau baisse dans la chaudière, le chauffeur met la pompe en activité ; il remarque bientôt que le niveau descend outre mesure ; il vérifie donc son appareil alimentaire, les clapets, etc., et s'assure que tout est en ordre ; cependant le niveau est descendu au-dessous de la bague du tube ; mais le chauffeur est certain que l'eau va reparaître, puisqu'il l'a vue et qu'il est sûr de la bonne marche de l'alimentation. Tout à coup l'explosion se produit, parce que cette alimentation s'est faite, non dans la chaudière, mais dans les réchauffeurs qui, étant vides, doivent d'abord se remplir avant de déverser, ne serait-ce qu'un peu d'eau dans la chaudière.

C'est à pareille cause qu'il faut attribuer l'explosion par manque d'eau survenue le 11 décembre 1884, dans la sucrerie de Poix (Somme). La chaudière était formée d'un corps cylindrique tubulaire, placé au-dessus du foyer, et de trois bouilleurs-réchauffeurs latéraux superposés.

Il n'y a pas eu de dégâts matériels.

Un semblable accident s'est produit le 10 juillet 1878, à Levallois-Perret (Seine), à une chaudière cylindrique munie d'un bouilleur-réchauffeur latéral. Le tuyau de communication au-dessus des deux corps avait un diamètre de seize millimètres seulement.

Il n'est pas juste de dire ici que le chauffeur, brûlé par la vapeur, a été victime de sa négligence.

Des précautions, souvent minutieuses, sur la conduite du feu, l'épaisseur du charbon sur la grille, l'intervalle entre les chargements, sont réclamés du chauffeur, dans les cas ordinaires et dans ceux d'une interruption momentanée du travail.

Le chargement du combustible n'est pas aussi simple qu'on pourrait le croire, et il ne suffit pas, pour la conduite du feu, de jeter sans méthode du charbon sur la grille.

« Si le feu était abandonné à lui-même, dit M. Haton de la Gou-
« pillière, Inspecteur général des Mines, dans son *Cours de Machines*,
« la quantité d'air ne se trouverait presque jamais en rapport
« convenable avec la phase que traverse, à chaque instant, la combus-
« tion.

« Quand on vient de charger du combustible, la grille est encom-
« brée, le charbon s'agglomère s'il est d'une nature collante, l'air filtre
« difficilement ; et cependant c'est le moment où il en faudrait beau-
« coup pour griller le flot de gaz combustible qui commence à distiller
« avec production de fumée noire.

« Vers la fin de la combustion, au contraire, le coke se raréfie, les
« intervalles sont redevenus libres, et l'air passe en grande abondance,
« au moment où le carbone seul reste en ignition et où toute la partie
« volatile a disparu, ce qui devrait inversement motiver une diminu-
« tion dans l'accès de l'air.

« Il est donc nécessaire que le savoir-faire du chauffeur remédie à
« ces tendances par l'habile disposition de son feu... Il doit aussi
« empêcher avec soin la formation de cratères, donnant passage à des
« dards de chalumeau » qui ont une influence funeste sur la tôle des chaudières.

C'est à un « violent coup de feu, provenant d'une conduite défec-
« tueuse du feu » que l'Ingénieur des Mines attribue l'explosion d'une chaudière horizontale cylindrique avec six bouilleurs, qui s'est produite le 31 décembre 1884, à la filature de Senones (Vosges).

Le bouilleur de droite s'est fendu le long de la génératrice inférieure.

Le chauffeur est mort de ses blessures et deux ouvrières ont été plus ou moins grièvement atteintes.

Lorsqu'un chauffeur n'a que sa chaudière à conduire, qu'elle a une surface de chauffe et un volant calorifique suffisants, il peut satisfaire facilement aux exigences de l'Instruction ministérielle du 22 juillet 1843, aussi bien qu'à celles des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur; mais s'il conduit aussi la machine et qu'un dérangement subit réclame sa présence, et si, d'ailleurs, sa chaudière, un peu faible pour les besoins de l'usine, nécessite un chauffage soutenu et une pression voisine de celle du timbre, ce qui est fréquent, il lui est matériellement impossibie de suivre ces Instructions.

Un bon chauffeur se tirera, sans trop de peine, d'un mauvais cas de cette nature ; avec un mauvais chauffeur, la chaudière est en danger.

Il faut bien l'avouer, beaucoup d'industriels ont des chaudières à vapeur trop faibles pour leurs besoins ; cela tient à plusieurs causes :

D'abord, lors de l'installation de leurs appareils, ils ne se rendent pas suffisamment compte de la quantité de vapeur qui leur est nécessaire ; la somme à dépenser varie naturellement avec la puissance des appareils et ils ont une tendance bien naturelle à diminuer ces premiers frais. C'est ce même motif qui les pousse à acquérir des appareils d'occasion.

Ensuite leurs besoins s'augmentent, et, lorsqu'une chaudière est suffisante dans le principe, elle devient souvent trop faible plus ou moins longtemps après son installation.

Il faut presque toujours des motifs bien sérieux pour obliger les usiniers à remplacer une chaudière par une autre plus puissante ou à en installer une nouvelle.

Enfin, il est rare que le travail de l'usine soit parfaitement régulier, et effectivement il ne l'est jamais quand on utilise la vapeur pour certains chauffages. La production est alors naturellement obligée de suivre les besoins ; c'est spécialement pour ces usines que les chaudières doivent, suivant l'expression consacrée, marcher à coups de collier.

La question se complique encore lorsque la chaudière porte la machine, qu'il s'agisse d'appareils dits demi fixes ou locomobiles.

Les constructeurs de ces appareils, pour ne pas dépasser les prix courants, ou même rester en dessous de ces prix, limitent actuellement au strict nécessaire la capacité productrice de vapeur correspondant à la force indiquée pour la machine.

Mais, pour que cette machine donne un résultat industriel convenable, ils doivent se tenir dans certaines limites de vitesse et de détente au delà desquelles les résultats du fonctionnement sont défectueux.

L'ensemble forme, la plupart du temps, un appareil bien convenable pour la force indiquée; mais il est bien rare que les industriels se contentent de cette force ; non seulement par suite de l'augmentation non prévue du travail, mais encore parce qu'ils croient, de bonne foi, que la machine peut produire une énergie plus considérable. Ils se trompent eux-mêmes, et, lors de l'acquisition, ils achètent un appareil d'une puissance réellement inférieure à leurs besoins prévus.

Il y a plusieurs années, les constructeurs indiquaient, en effet, pour leurs machines, une force moindre que celle qu'elles pouvaient engendrer pratiquement; et ils la désignaient sous le nom de force nominale.

Il n'en est plus de même actuellement.

Pour faire développer à la machine la puissance qui leur est effectivement nécessaire, il suffit aux industriels d'en augmenter la vitesse, ou la pression de marche; ou encore de diminuer la détente; mais ces changements ne peuvent se faire sans une augmentation de production de vapeur.

Dans tous les cas que nous venons d'examiner, et ils sont malheureusement fréquents, la chaudière est FORCÉE, nous en montrons plus loin les fâcheuses conséquences; souvent aussi les soupapes *doivent être surchargées*, à moins que, de concert avec l'administration, l'industriel n'augmente le timbre de la chaudière, ce qui produit le même résultat de surcharge qu'aggrave encore la détérioration de la chaudière par l'épreuve à haute pression.

Doit-on rendre le chauffeur responsable d'un pareil état de choses, et peut-on le blâmer d'accepter une situation semblable, alors qu'il attend après son salaire pour nourrir sa famille ? Nous ne le croyons pas.

Dans le cours du travail, le chauffeur approche le charbon, le casse et décrasse la grille. Ce décrassage exige une certaine habileté et une grande promptitude, sans quoi la contraction, produite par l'air froid, fatigue la chaudière et peut même en déterminer la rupture.

C'est à cette cause qu'il faut attribuer l'explosion survenue, le 28 novembre 1870, à la sucrerie de Berlaimont (Nord), d'une chaudière à deux bouilleurs qui a brûlé le chauffeur et son aide.

« La grille, dit le rapport officiel, était à une distance un peu faible

« des bouilleurs, et le chauffeur avait l'habitude de trop charger de « combustible. Il en est résulté une détérioration progressive de la tôle « au-dessus du foyer sous l'action des feux intenses faits sous la chau- « dière.

« La rupture s'est produite au moment où le chauffeur venait d'ou- « vrir la porte du foyer pour attiser le feu. »

C'est le chauffeur qui est chargé de l'alimentation.

Le niveau de l'eau doit être toujours voisin de la ligne tracée près du tube de verre, il ne doit jamais descendre au-dessous de la garniture de ce tube; et, effectivement, cela n'arriverait jamais, si des circonstances indépendantes de la volonté du chauffeur ne venaient faciliter l'abaissement du niveau.

C'est quelquefois l'appareil alimentaire lui-même qui n'agit pas; la garniture de la pompe qui s'est défaite ; le clapet qui ne ferme plus, soit par suite de l'interposition de matières sur son siège, soit à cause de la température trop élevée de l'eau d'alimentation. Ce sont, d'autres fois, les tuyaux de circulation de l'eau qui sont obstrués ou bouchés, soit ceux qui servent à l'alimentation, soit surtout ceux d'arrivée de l'eau (1).

C'est encore le clapet de retenue qui se ferme mal (2), de sorte que l'eau d'une chaudière se déverse dans une autre ou même s'échappe dans le réservoir en passant par la garniture de la pompe. Ce sont enfin les fuites qui se déclarent au générateur et qui peuvent être assez fortes pour permettre à la chaudière de se vider pendant la marche, en provoquant une explosion semblable à celle d'une chaudière cylindrique horizontale survenue aux mines de Comberigol (Loire), le 6 septembre 1885.

C'est même quelquefois le primage.

Lorsque la chaudière doit fournir de la vapeur calorifère pour le chauffage de certains appareils, la quantité de vapeur employée est très considérable au moment du premier chauffage; si l'on ne prend aucune précaution, il peut y avoir, à ce moment, un primage ou entraînement d'eau notable.

---

(1) M. Cornut (1878 et 1889) a exposé de très intéressants échantillons de ces tuyaux obstrués en grande partie ou même complètement par les incrustations.

(2) A la suite d'une explosion de chaudière dans la fabrique d'essieux de MM. Bail-Pozzy et Cie, à Persan (Seine-et-Oise), qui a eu lieu par suite de manque d'eau, il a été reconnu que ce manque d'eau venait du non-fonctionnement du clapet de retenue qui était, du reste, d'un type défectueux, dit le rapport officiel.

L'explosion survenue, le 29 octobre 1883, dans une papeterie à Chabaignes (Sarthe) a eu lieu pour cette cause; elle s'est produite par suite de manque d'eau, « une heure après l'ouverture du robinet de communication avec les lessiveurs. »

Le chauffeur ne peut souvent s'apercevoir d'un fait de cette nature que par l'abaissement anormal du niveau de l'eau. Mais où est le défaut? il en est réduit aux conjectures. Un chauffeur intelligent et expérimenté trouvera le dérangement plus rapidement qu'un autre et remettra l'appareil en ordre. Un ouvrier médiocre sera d'autant plus embarrassé que, pendant ses recherches, le niveau de l'eau continue à descendre, atteint la bague du tube et disparaît; il n'a donc plus aucun moyen de contrôle, et s'il se trompe sur la cause du mal, s'il l'attribue au clapet d'alimentation alors qu'il faudrait le trouver dans le clapet de retenue, dans la garniture de la pompe, ou dans les tuyaux, ou enfin dans les fuites que souvent il n'aperçoit pas, il croit, à tort, introduire de l'eau dans la chaudière; un accident par manque d'eau est alors inévitable.

Une explosion de chaudière cylindrique tubulaire, survenue le 5 octobre 1880, à Talence (Gironde), a été produite par un manque d'eau de cette nature.

Le chauffeur a bien reconnu que le niveau baissait, mais il n'a trouvé la cause de cet abaissement de l'eau que longtemps après; le tuyau de communication de la pompe alimentaire au réservoir était obstrué.

Dès qu'il eut débouché ce tuyau, le chauffeur alimenta la chaudière, mais les parois rougies se crevassèrent sous l'action de l'eau froide et l'explosion eut lieu sans qu'aucun dégât considérable ait été signalé.

Lors d'une explosion qui s'est produite le 13 juillet 1873, à une chaudière cylindrique à deux bouilleurs, dans la tuilerie de Frémonville (Meurthe-et-Moselle), due au défaut d'alimentation, « le chauffeur « s'est aperçu trop tard que l'eau manquait; en ce moment la pompe « était dérangée; au rétablissement de l'alimentation, la chaudière « s'est ouverte. »

Dans une circonstance semblable, il est sans doute prudent que le chauffeur arrête la chaudière, dans la crainte d'un accident; mais nous avons déjà montré que, pratiquement, il ne le peut guère, s'il tient à sa place.

Quoi qu'il en soit, il peut y avoir, de la part du chauffeur, incapacité, imprudence même, mais il n'y a ni négligence ni incurie.

Examinons l'action du chauffeur sur les appareils de sûreté.

Les appareils indicateurs du niveau de l'eau sont doubles, un tube en verre d'abord et ordinairement un flotteur.

Les flotteurs actuellement en usage sont des appareils donnant des indications très apparentes et fonctionnant généralement bien; et c'est précisément par suite des avantages que ces appareils présentent que le chauffeur se guide sur eux dans la plupart des cas.

Mais, malheureusement, ils s'arrêtent quelquefois subitement, pour des causes non apparentes et que le chauffeur ne peut pas prévoir.

Persuadé, dans ce cas, que le niveau est à une hauteur suffisante, il continue à chauffer et, après un temps plus ou moins long, il se produit quelquefois une explosion, presque toujours une détérioration à la chaudière.

C'est le mouvement ascensionnel de l'eau qui actionne les flotteurs en agissant, tantôt sur une lentille creuse plus légère que l'eau, tantôt sur une pierre plus dense; les mouvements sont transmis à l'index par une tige métallique, directement dans le premier cas, à l'aide d'un contrepoids dans le second.

Toutes les circonstances qui peuvent influer sur ces diverses parties sont de nature à causer l'arrêt du flotteur ou à donner des indications inexactes.

Suivant le système employé, l'index peut occasionner des lectures erronées : quand l'appareil est mal établi; lorsque l'élasticité du tube métallique a varié; quand la force de l'aimant a diminué, etc.

D'autre part, la tige métallique peut s'entartrer, s'arrêter par le frottement ou même se casser.

Dans le VIIe congrès des Ingénieurs en chef des associations de propriétaires d'appareils à vapeur, M. Cornut a cité deux explosions, ayant occasionné la mort de trois ouvriers et blessé très grièvement un quatrième, qui se sont produites à des générateurs semi-tubulaires par suite de l'arrêt du flotteur causé par l'entartrage de la tige.

Pour la première, survenue le 3 mars 1875, le tube en verre ne fonctionnait pas ; le niveau de l'eau ne pouvait donc être indiqué que par le flotteur magnétique.

« Le 4 mars, lendemain de l'accident, le générateur était complè-
« tement vide et pourtant l'indicateur magnétique marquait + 6 (fort).

« Cet appareil fut démonté et on trouva le premier tronçon rempli
« de marne, sur 235 millimètres de hauteur; dans ces calcaires on dis-

« tinguait nettement le logement du buttoir destiné à actionner la
« pédale du sifflet d'alarme de manque d'eau.

« La tige ayant été remise en place, le buttoir reposant sur la
« marne, l'aiguille a repris sa position première et s'est maintenue à
« + 6 (fort).

« Cette tige se mouvait assez facilement dans ses guidages, elle pou-
« vait donc monter au-dessus de + 6, mais ne pouvait plus descendre
« en dessous de cette limite.

« Le mécanisme du sifflet d'alarme était rempli de marne, ce qui
« empêchait tout fonctionnement de cet appareil.

« Les dépôts calcaires enfin étaient venus jusque dans le deuxième
« compartiment de l'indicateur magnétique. »

Pour la seconde, survenue le 10 janvier 1882, l'indicateur magnétique marquait + 5, bien que la chaudière fût vide d'eau. « Cet appa-
« reil était donc faussé et paralysé; il fut démonté, et on s'aperçut que
« tout le compartiment inférieur était rempli de marne.

« Dans ces conditions, l'appareil était incapable de rendre le moindre
« service; à grand peine pouvait-on faire soulever ou abaisser la tige de
« quelques centimètres en la poussant avec force de manière à faire
« pénétrer dans la marne le buttoir qui actionne les pédales des deux
« sifflets. »

Lors d'une explosion qui s'est produite à Paris le 20 août 1879, causée évidemment par manque d'eau, nous avons reconnu que le flotteur, d'un excellent système d'ailleurs, donnait des indications inexactes, par suite de la déformation de la tige. Cet appareil fonctionnait librement depuis le haut de sa course jusqu'à la partie moyenne, c'est-à-dire qu'il pouvait indiquer le trop d'eau et la hauteur normale, mais il s'arrêtait brusquement à cette dernière position; la tige coudée venait frotter contre le piétement de l'appareil. La position de ce coude paraît indiquer que la courbure de la tige a été produite par le mouvement de l'eau agissant sur le flotteur.

Lors d'une explosion survenue à la raffinerie Lebaudy, à Paris, le 25 octobre 1886, il a été constaté que l'index du flotteur magnétique Lethuillier-Pinel « se tenait sur la ligne 7 de sa graduation, ce qui
« montrait que le flotteur ne s'abaissait pas au-dessous de la position
« correspondant à cette graduation, malgré le manque d'eau total qui
« existait à ce moment dans la chaudière ».

M. Périssé, Ingénieur, désigné comme expert judiciaire au sujet de cette explosion, affirme que la tige a été faussée par l'écoulement brusque et rapide de l'eau. Nous le croyons sans peine, mais des cir-

constances analogues, produisant des effets semblables sinon aussi violents, peuvent se présenter dans la marche ordinaire de la chaudière, comme l'exemple précédent paraît du reste l'indiquer.

Il n'est pas rare que le flotteur se détache de la tige sur laquelle il est accroché ou fixé, ainsi qu'on l'a constaté lors d'une explosion survenue aux Mines de Liévin, le 12 octobre 1881.

Quand le flotteur est constitué par une pierre, cette pierre peut se déliter, se ronger ou se casser. Lors de l'explosion d'un générateur cylindrique à deux bouilleurs survenue le 1er décembre 1878, à la sucrerie de Coucy-le-Château, par suite de manque d'eau, « la pierre du « flotteur d'un des indicateurs s'était désagrégée, dit le rapport offi- « ciel, et, devenue trop légère, elle était maintenue toujours au plus « haut, par l'action du contrepoids. »

Si le flotteur est formé d'une lentille creuse, cette lentille peut se fendre; l'eau pénétrant dans l'intérieur annule son action.

Lorsqu'une telle lentille est soumise à la pression d'épreuve, elle se déforme ou même se brise. Incidemment, nous pouvons dire ici que, lorsque cet accident survient, la tension dans la chaudière atteignant un degré élevé, il se produit une vibration de toute la masse, qui montre bien l'influence qu'un choc peut avoir sur les explosions.

On ne peut, et on ne doit avoir aucune confiance dans les flotteurs à presse étoupes; nous comprenons difficilement qu'un industriel puisse utiliser un organe de ce genre qui fonctionne mal. Leur arrêt a causé de nombreuses explosions, et, suivant nous, ils doivent être radicalement supprimés.

Enfin, certaines circonstances qu'on ne saurait prévoir peuvent encore produire l'arrêt du flotteur; nous pouvons en citer une bien extraordinaire qui a causé l'explosion survenue le 12 août 1879, dans un tissage de Rouen.

La chaudière cylindrique à deux bouilleurs était traversée par deux tubes de retour de flammes.

Pour éviter l'arrivée des boues aux bouilleurs, on avait muni le corps cylindrique d'ajutages simplement emboîtés dans les cuissards; une de ces pièces de tôle légère s'était détachée, elle suivit le mouvement de l'eau, erra dans la chaudière, et vint se placer « sous le flotteur de « l'indicateur qu'elle a immobilisé, et qui était *seul consulté*, quoique « la chaudière fût pourvue d'un tube indicateur en verre ».

Les chauffeurs n'ont guère d'action sur les flotteurs perfectionnés, leur arrêt ne peut pas leur être imputé. Il serait d'ailleurs injuste de les rendre responsables des vices des systèmes défectueux.

Doit-on dire, comme on l'a souvent affirmé, que le tube en verre est un appareil sur lequel on peut sérieusement compter ? Nous estimons au contraire que ses indications sont toujours plus ou moins erronées !

Il est ùn fait reconnu, c'est que deux tubes, montés d'une façon différente sur une même chaudière, n'ont pas des niveaux concordants.

Les explications, données jusqu'ici, de cette différence, ne sont pas parfaitement claires; mais il est certain que la condensation de la vapeur dans les tuyaux, les points de la chaudière où ils aboutissent, les émulsions, les ébullitions tumultueuses, l'obstruction plus ou moins grande de ces tuyaux ou des robinets par les matières étrangères, ont une influence sérieuse sur leurs indications.

Toutes ces causes d'erreur sont graves; la différence du niveau lu dans le tube en verre, avec le niveau vrai, existant dans la chaudière, peut être considérable; et il est aussi regrettable qu'extraordinaire que l'Administration n'ait pas fait à ce sujet des expériences précises que semblerait nécessiter l'emploi obligatoire du tube qu'elle impose.

La communication du tube indicateur avec les parties supérieures et inférieures du générateur se fait, le plus souvent, par le moyen de tuyaux en cuivre de faibles diamètres terminés par des robinets. Il importe, du reste, pour faciliter l'arrêt de l'eau et de la vapeur, en cas de bris de tube, que ces robinets soient éloignés de la monture et, conséquemment, que les tuyaux aient une longueur importante.

Or, si l'on ferme le robinet inférieur, l'eau, provenant de la condensation de la vapeur, afflue dans le tube et le remplit. De même, quand on ferme le robinet supérieur, la vapeur se condense immédiatement, l'eau s'élève dans le tube et le remplit également.

En fermant partiellement l'un de ces robinets, le niveau varie suivant l'importance de la fermeture, le diamètre et la longueur des tuyaux, leur inclinaison et le nombre de leurs coudes.

Spécialement, quand on agit sur le robinet d'amenée de vapeur, chaque phase de la fermeture crée un niveau spécial.

Ce niveau factice, essentiellement erroné, a cependant toutes les apparences du niveau vrai : l'oscillation de l'eau est même particulièrement remarquable. Cette cause d'erreur est, par conséquent, d'une gravité exceptionnelle, car non seulement un oubli ou une inadvertance du chauffeur peuvent causer la fermeture partielle de ce robinet, qu'il doit nécessairement manœuvrer soir et matin, mais encore il suffit que le tuyau soit d'un diamètre trop faible, ou qu'il soit partiellement obstrué, pour que les phénomènes que nous signalons ici se produisent en pleine marche.

D'autre part, le tuyau d'amenée d'eau est plus ou moins chargé de bulles de vapeur et de matières émulsionnantes qui ont une action importante dans ces tubes et tuyaux dont le diamètre est *forcément restreint*, sans quoi leur rupture fréquente équivaudrait à une explosion. On voit même souvent l'eau sectionnée par des bulles de vapeur et plus ou moins violemment entraînée. Les chauffeurs de profession connaissent bien cette particularité et disent que la chaudière fait siphon.

On sait enfin que l'abaissement de pression de la réserve de vapeur provoque le dégagement ou la production de celle qui existe dans l'eau à l'état de suspension ou à l'état latent. Mais l'équilibre de pression n'est pas immédiat, il est fonction de divers facteurs, notamment de la rapidité de dégagement de la vapeur.

Cette action a une influence sur les indications du niveau de l'eau dans le tube ; elle est si remarquable que, dans certains cas, nous avons pu compter le nombre de coups de piston d'une machine éloignée du générateur, par celui des oscillations de l'eau dans le tube en verre de la chaudière.

Elle s'accroît évidemment avec la quantité de vapeur dégagée et devient maxima, lorsque le niveau de l'eau descend dans la chaudière et que l'ébullition est tumultueuse.

« La hauteur réelle de l'eau par le fait d'ébullition tumultueuse, dit « M. Hirsch, dans son *Cours de Machines à vapeur*, peut tromper le « chauffeur. »

M. Chesneau, Ingénieur des Mines, prétend même que la vapeur, en se condensant par refroidissement dans le tube en verre, peut arriver à former une colonne d'eau tenue en équilibre par la pression de la vapeur. Cette opinion, qui ne peut se soutenir qu'en s'appuyant sur l'insuffisance ou l'obstruction partielle du tuyau d'amenée de vapeur, comme nous venons de l'expliquer, émise dans un rapport officiel, à la suite d'une explosion et acceptée par la Commission centrale des Machines à vapeur, aussi bien que les observations précédentes, sont de nature à faire considérer comme illusoires les avantages que l'on a jusqu'ici attribués au tube de niveau (1).

---

(1) Voici l'extrait du rapport de M. Chesneau, dont il est ici question, relatif à une explosion survenue, le 7 octobre 1885, à Solre-le-Château :

« Le chauffeur n'a évidemment pas suivi attentivement la marche de l'eau dans le tube « indicateur en verre, mais il a pu croire, jusqu'au dernier moment, que la chaudière « contenait de l'eau, parce que la vapeur, qui se condensait par refroidissement dans le

Quoi qu'il en soit, nous avons eu à instruire plusieurs explosions produites évidemment par manque d'eau total, à la suite desquelles il a été constaté que le tube contenait de l'eau au moment de l'accident.

Il peut donc induire en erreur.

Lors de l'explosion d'une chaudière cylindrique à deux bouilleurs survenue le 21 février 1878, à Gueures (Seine-Inférieure), par suite de manque d'eau, il a été constaté que :

« Le tube en verre était monté de manière à donner des indications « fausses; pendant que la chaudière se vidait entièrement, il restait « dans le tube une petite quantité d'eau faisant croire à un niveau « normal. »

A la suite de l'explosion d'une chaudière cylindrique tubulaire à retour de flammes, survenue à Paris, le 15 septembre 1881, par suite de manque d'eau, explosion qui a brûlé mortellement le chauffeur, il a été reconnu que le tube indicateur contenait de l'eau : l'orifice inférieur était en partie obstrué par de la filasse.

Lors de l'explosion d'une chaudière cylindrique à trois bouilleurs qui a eu lieu le 17 avril 1884, dans un tissage de Flers, le manque d'eau a été occasionné, dit le rapport officiel, « par suite d'erreur d'ob- « servation causée par une obstruction partielle de la communication « inférieure du tube de niveau ».

Ce tube a tellement induit le chauffeur en erreur que, même lorsqu'il s'est aperçu de l'obstruction du tuyau, il n'a pas supposé que la chaudière manquait d'eau, car, au lieu d'alimenter, ce qu'il n'aurait pas manqué de faire, il était précisément en train de déboucher le tuyau au moment de l'explosion qui l'a tué.

Au sujet de l'explosion d'une chaudière multitubulaire survenue à Paris, le 1er juin 1888, « le chef mécanicien et les chauffeurs pré- « tendent... qu'ils ne soupçonnaient pas le danger, parce qu'ils conti- « nuaient à voir de l'eau dans le tube indicateur de gauche ; ces « ouvriers assurent même qu'ils ont constaté la présence de l'eau en « purgeant ce tube et en ouvrant le robinet de jauge inférieur de la « clarinette : le niveau, disent-ils, se relevait après chaque purge, « lorsqu'on refermait le robinet, au-dessus du niveau permanent. »

« tube en verre, était arrivée à former une colonne d'eau tenue en équilibre par la pres- « sion de la vapeur. Quelques minutes avant l'accident, le directeur était passé devant la « chaudière et avait constaté que l'eau apparaissait dans le tube et oscillait avec rapi- « dité ; on a d'ailleurs retrouvé de l'eau dans le tube en cuivre du niveau d'eau brusque- « ment replié pendant l'explosion. »

D'après M. Walckenaer, Ingénieur des mines, ces particularités peuvent s'expliquer par une disposition vicieuse des indicateurs du niveau.

Le tuyau d'amenée d'eau pénétrait dans le corps supérieur, et s'y prolongeait verticalement de manière à atteindre une hauteur supérieure à celle de la bague inférieure du tube de niveau. Il se formait ainsi une sorte d'*U* qui restait plein d'eau quand la chaudière se vidait. Nous devons ajouter que cette disposition pouvait même retenir l'eau provenant de la condensation de la vapeur dans les tuyaux, et par conséquent fournir une certaine quantité d'eau, lors des purges successives du tube, alors que la chaudière n'en contenait pas.

D'ailleurs, le tube en verre se ternit assez rapidement, et ses indications deviennent peu apparentes. Les parties avoisinant la ligne du niveau sont même souvent tapissées de matières étrangères qui simulent le niveau de l'eau ; on peut s'y tromper.

On atténue en partie cet inconvénient par l'emploi d'appareils à cylindres récepteurs dits « clarinettes », qui ont aussi le précieux avantage de donner une grande rigidité aux garnitures des tubes.

On a perfectionné ces « clarinettes », en les munissant d'une cloison séparatrice ou même en les doublant, ce qui nous paraît préférable.

Enfin, l'adjonction d'une bande longitudinale, de couleur généralement rouge, facilite la vue du mouvement de l'eau ; cette bande peut être établie dans le corps du tube lui-même, on lui donne alors le nom de tube photophore.

Sans doute, un homme expérimenté ne se trompera pas sur la valeur de la plupart de ces indications erronées ; mais d'abord il faut, par suite des défauts des appareils, une attention trop soutenue qu'il est difficile d'exiger pratiquement ; et, ensuite, beaucoup d'ouvriers manquent de cette expérience et de ce savoir qui font le parfait chauffeur. Enfin, l'une au moins de ces causes induira toujours le chauffeur en erreur, quelle que soit son expérience.

Trop souvent le tube en verre se casse, en blessant le chauffeur, et l'eau bouillante ainsi que la vapeur qui s'en dégagent le brûlent. Cet inconvénient est très grave ; nous avons nous-même été atteint par les débris d'un tube qui s'est brisé, et plusieurs industriels n'ont pas hésité à nous déclarer qu'à la suite d'accidents sérieux produits dans leurs usines, par la rupture des tubes en verre, ils refusaient, catégoriquement, d'en faire usage.

Pour éviter les accidents qui résultent de la projection de l'eau

chaude et de la vapeur produite par le bris du tube indicateur, on a imaginé divers organes obturateurs se fermant automatiquement lorsque survient cet accident, et placés dans les conduites d'eau et de vapeur.

Ces organes présentent les mêmes inconvénients que les clapets automatiques d'arrêt que nous étudions plus loin : 1° Si leur fonctionnement est trop sensible, ils agissent dès qu'on purge le tube ; ils sont ainsi un obstacle à cette purge cependant si nécessaire ; et, 2° lorsque ce fonctionnement est moins facile, il est rapidement diminué par la présence des matières incrustantes qui collent ces obturateurs sur leur siège; alors ils ne fonctionnent pas quand leur action est nécessaire. Dans tous les cas, l'adjonction d'un organe intérieur est une cause sérieuse d'agglomération de matières qui bouchent les conduits du tube et suppriment ses indications.

On a essayé de remplacer le tube en verre par des glaces épaisses enchâssées dans des ouvertures rectangulaires pratiquées dans un corps principal en fonte. Les inconvénients pratiques de ces appareils paraissent être un obstacle à leur emploi.

On exige qu'un tube cassé soit immédiatement remplacé par le chauffeur ; mais, pour être solide, un tube demande à être posé avec beaucoup de soins, et cette opération est d'une réelle difficulté, lorsque la chaudière est sous pression : les robinets sont chauds, ils sont rarement étanches, l'eau qui s'en échappe brûle les doigts du chauffeur, qui ne peut, du reste, y consacrer qu'un temps très court, sans laisser tomber le feu qu'il doit entretenir.

Au surplus, soit pour ces raisons, soit pour toute autre, il arrive fréquemment qu'un tube en verre, nouvellement placé, se casse de suite ; un second, un troisième, un plus grand nombre même ont pareil sort. Le chauffeur se lasse, ou n'ayant pas suffisamment de tubes de rechange sous la main, il se décide à consulter uniquement le flotteur, et il s'y habitue.

Enfin, le tube en verre est, la plupart du temps, placé au-dessus de la tête du chauffeur ; des garnitures ou des robinets tombent constamment des gouttes d'eau bouillante qui le brûlent.

Ces accidents n'encouragent pas les chauffeurs à entretenir cet appareil dont l'utilité est nulle, suivant beaucoup d'entre eux.

A notre avis, les indications du tube en verre ne peuvent avoir de valeur que si l'on emploie simultanément deux de ces appareils qui se contrôlent l'un par l'autre.

Les robinets de jauge, qu'on emploie quelquefois, sont les organes les plus simples, mais ils ne constituent pas un véritable appareil indicateur du niveau et ne permettent qu'un contrôle approximatif.

Ils sont sujets à plusieurs inconvénients: ils nécessitent d'abord une manœuvre spéciale chaque fois qu'on veut s'en servir. Quand ils sont à la portée de la main du chauffeur, comme dans les chaudières de très faibles dimensions, il peut les consulter aisément, bien que leurs indications soient difficiles à interpréter; mais, lorsque la hauteur du plan d'eau a une certaine importance, ce qui est le cas général, la manœuvre de ces robinets est très incommode.

Ils s'obstruent ensuite assez fréquemment par suite de leur position qui les met continuellement en contact du plan d'eau où surnagent les matières impures.

Leur dégorgement, qui n'est pas toujours facile, provoque des jaillissements d'eau qui brûle l'opérateur.

Il serait nécessaire que le chauffeur fît jouer très souvent ces robinets, ce qu'il est cependant bien difficile d'exiger de lui, puisqu'il existe des appareils automatiques.

Suivant nous, les robinets de jauge devraient servir, de préférence, à reconnaître la position approximative du plan d'eau, lorsqu'il s'est abaissé accidentellement au-dessous de la garniture du tube, et nous pensons qu'il serait avantageux que la chaudière en portât plusieurs à cet effet.

Les sifflets d'alarme procèdent d'une idée juste, mais leur usage est très peu pratique.

« Le flotteur d'alarme, disent les Instructions ministérielles de 1843, « ne doit fonctionner que rarement, puisqu'il est destiné à avertir « d'une circonstance qui n'a pu arriver que par la négligence du « chauffeur. » Cette phrase, injuste et maladroite, qui a été affichée jadis par ordre administratif, dans toutes les chambres de chauffe, a été la condamnation de ces appareils. Il faut reconnaître d'ailleurs que le fonctionnement de ces sifflets est plus incertain encore que celui des flotteurs, et que leur emploi crée une fausse sécurité.

Leur arrêt a causé, à notre connaissance, plusieurs accidents, et leur emploi nous paraît plus dangereux qu'utile.

Nous pouvons citer, à cet égard, un exemple frappant.

Nous avions installé une chaudière à vapeur dans une importante usine de Paris, appartenant à un industriel aussi intelligent que sérieux, qui ne ménage ni son temps ni son argent pour la bonne marche de ses appareils.

Après cette installation, l'usine comportait deux chaudières et une machine à vapeur. Le personnel chargé de l'entretien de ces appareils se composait de : un chef mécanicien des plus capables, un mécanicien chargé plus spécialement de la machine et de l'alimentation, et un chauffeur.

Nous avions placé, comme appareils indicateurs du niveau de l'eau, deux tubes de verre. L'industriel, sur la demande du chef mécanicien, nous pria de faire installer, en outre, un sifflet d'alarme. Cette demande était d'autant plus justifiée que la capacité de la chaudière étant faible eu égard à la surface de chauffe, le niveau de l'eau descendait rapidement. Cependant nous lui fîmes part de nos appréhensions sur le fonctionnement de cet appareil automatique, lui donnant le conseil de ne pas s'en servir ; mais, sur les instances de son personnel, il persista dans sa résolution.

Nous chargeâmes de ce soin le constructeur de Paris le plus en renom, en lui recommandant de choisir le meilleur appareil de sa fabrication et de le faire poser par son ouvrier le plus habile, le coût n'étant ici qu'une question accessoire.

Cet appareil, une fois installé, n'eut jamais l'occasion de fonctionner pendant la journée, car l'eau ne descendit pas suffisamment pour le permettre. Cependant son fonctionnement était assuré, car on l'entendit plusieurs fois pendant la nuit, ce qui nécessita, à plusieurs reprises, la visite nocturne du chef mécanicien.

Après un certain temps de marche, arriva l'époque du nettoyage complet de la première chaudière, nettoyage compliqué et délicat par suite des collecteurs de matières incrustantes qu'elle contient et dont le démontage nécessite, à un moment donné, la présence à l'intérieur de la chaudière du mécanicien et de son chef. Le chauffeur se trouvait ainsi chargé seul, momentanément, de la conduite de la machine et de la nouvelle chaudière, très poussée alors, puisqu'elle devait, seule, fournir la vapeur nécessaire aux besoins de l'usine.

Le niveau de l'eau baissant, le chauffeur ouvrit le robinet d'alimentation de la pompe ; mais cette manœuvre n'était pas suffisante; l'ouverture d'un second robinet placé à la suite du réchauffeur d'eau d'alimentation était nécessaire, le chauffeur l'ignorait. La pompe fonctionnait donc sans donner d'eau à la chaudière.

Pendant cette manœuvre, le niveau s'était abaissé en dessous de la garniture du tube ; le chauffeur ne s'en préoccupait pas trop, le sifflet devait l'avertir.

Cependant l'eau ne paraissait pas; mais cette circonstance pouvait pro.

venir, pensait le chauffeur, de la vaporisation considérable que nécessitait la situation; l'important était de produire de la vapeur, la machine commençant à se ralentir; il poussa donc son feu avec énergie.

Mais la machine se ralentissant de plus en plus, le directeur de l'usine se rendit à la chaudière pour examiner la situation; par une circonstance extraordinaire, nous arrivions nous-même à ce moment précis, et nous reconnûmes immédiatement le manque d'eau total.

Tous les tubes étaient portés au rouge.

Le sifflet n'avait pas fonctionné !!!

Nous pouvons ajouter qu'il est difficile de se rendre compte du fonctionnement normal d'un sifflet : s'il est actionné par le levier du flotteur ordinaire, il s'arrête avec lui; si un flotteur spécial lui est affecté, ou il est inaccessible, et on ne peut en vérifier la bonne marche, ou il est abordable par l'intermédiaire d'un contrepoids; dans ce cas, lorsqu'on soulève ce contre poids, le sifflet se fait toujours entendre, même lorsqu'il ne serait pas en état de fonctionner par l'abaissement seul du niveau de l'eau.

Ainsi, tous les appareils indicateurs du niveau de l'eau actuellement en usage présentent certains avantages et de graves inconvénients; d'ailleurs, si l'on considère que, dans la pratique, le chauffeur a inévitablement une plus grande confiance en l'un d'eux qu'il consulte et entretient de préférence, on en conclura que, si cet appareil s'arrête ou donne des indications erronées, un accident est à craindre. Il s'en suit que l'emploi simultané de deux indicateurs de types différents, loin d'être une cause de sécurité, est au contraire une source de dangers.

Nous croyons à la nécessité de deux appareils indicateurs de niveau, mais nous sommes convaincu que la sécurité serait beaucoup plus assurée par l'emploi de deux appareils de *même système* se contrôlant sûrement l'un par l'autre.

Quoi qu'il en soit, et en toute sincérité, il faut avouer que tous les appareils indicateurs peuvent induire le chauffeur en erreur. Nous avons la certitude que le chauffeur ne laisse jamais sa chaudière manquer d'eau par négligence proprement dite, il est trop exposé pour cela, et nous estimons que, dans les rapports officiels, on a trop abusé de ce cliché.

Au surplus, les explosions par manque d'eau viennent aussi de causes absolument indépendantes de l'action du chauffeur; nous verrons, en les examinant, que des dispositions défectueuses du générateur pro-

duisent de véritables manques d'eau, et que des tubes de vaporisation notamment peuvent s'écraser et s'ouvrir avec tous les caractères du manque d'eau, sans qu'il soit nécessaire de supposer que le niveau ait baissé.

Les soupapes de sûreté sont de très bons appareils qui nécessitent fort peu d'entretien, quand elles sont bien établies ; toutefois, si on ne les touche jamais, elles se collent inévitablement sur leur siège et l'adhérence peut être extrêmement considérable, au point de ne plus laisser échapper la vapeur à une pression très élevée.

Il est donc nécessaire que, de temps à autre, le chauffeur soulève très légèrement le levier ; la vapeur, en s'échappant, chasse les matières adhérentes.

Cependant, cette simple manœuvre produit parfois un accident : le clapet retombe mal sur son siège, ou quelque matière, un simple fétu, se place entre le clapet et ce siège, et la soupape fuit. On arrête quelquefois la fuite en tournant légèrement le clapet, mais souvent aussi cette opération l'augmente.

C'est une des raisons qui engagent le chauffeur à surcharger les soupapes de sûreté.

Nous allons en examiner d'autres.

On considère bien à tort, ainsi que nous le montrerons dans la suite, que le timbre de la chaudière est la limite extrême de la pression de sécurité (1). Cependant, dans cet esprit, on règle les soupapes de manière à laisser écouler la vapeur dès que la pression effective atteint cette limite.

Mais on prend pour base des calculs le diamètre intérieur, de sorte qu'elles se soulèvent sous une pression moindre. Cette avance dans leur action est d'autant plus apparente que, le plus souvent, le manomètre retarde (2).

---

(1) Il peut être intéressant de lire de suite au chapitre *Excès de pression* nos observations qui accompagnent l'explosion de la chaudière du bateau *le Tape-dur*, dont le timbre a été porté de 7 à 9 kilogrammes après six ans de marche sans consolidations spéciales.

Cette explosion, qui a fait six victimes, a eu lieu quelques mois après l'épreuve officielle à la suite de laquelle le timbre, ainsi surélevé, a été accepté et poinçonné par l'administration.

(2) Cette avance dans l'action des soupapes a été constatée depuis longtemps. Dès 1847, M. Jullien la signalait en ces termes dans son *Traité de Machines à vapeur* :

« D'après la nouvelle ordonnance, tous les poids et leviers, chargeant les soupapes de

Trompé par les indications de cet instrument, le chauffeur surcharge les soupapes.

C'est assurément fort imprudent, mais toutes les apparences sont pour lui, car, d'une part, presque toujours les soupapes se soulèvent réellement sous une pression moindre que celle pour laquelle elles ont été calculées, et, d'autre part, le chauffeur n'ignore pas, on le lui a dit et répété souvent, que, lors de l'épreuve d'une chaudière, on élève la pression au double de celle ordinaire de marche. Il croit, de bonne foi, que la chaudière peut supporter des pressions plus élevées et qu'une faible surcharge ne peut avoir aucun inconvénient.

Cette observation, que l'on nous a faite des centaines de fois, est une des conséquences pratiques de la surcharge trop forte de l'épreuve officielle. C'est aux chauffeurs plus spécialement qu'il faut dire et répéter que, comme nous le montrerons dans la suite, cette surcharge d'épreuve est mauvaise et cause à la chaudière des avaries telles qu'elle peut faire explosion, quelques jours après, sous une pression même inférieure à celle du timbre. Quand ils en seront bien convaincus, les chauffeurs ne surchargeront plus les soupapes de sûreté.

En attendant, nous croyons qu'il est utile de tenir les poids un peu forts, et de ne laisser souffler les soupapes qu'à une pression légèrement plus élevée que celle du timbre, pour qu'il y ait concordance entre la pression indiquée par ces appareils, et celle du manomètre. « Un certain excès de pression, pourvu qu'il soit contenu dans de « justes limites, chose toujours facile, présente peu d'inconvénients, » dit M. Couche, Inspecteur général des Mines.

Nous avons constaté quelquefois que les soupapes étaient calées, par le fait ou par l'ordre du propriétaire, ou de l'entrepreneur, quand la chaudière était trop faible pour le travail qu'on exigeait d'elle; mais nous n'avons jamais eu l'occasion de voir ce calage provenir du fait du chauffeur lui-même, ce que nous n'aurions du reste

---

« sûreté, doivent être vérifiés et poinçonnés par les agents de l'administration. Eh bien, « il est résulté de ce fait un inconvénient grave, qui ne peut être que momentané, mais « sur lequel nous appelons néanmoins la sérieuse attention de MM. les mécaniciens, « chaudronniers et propriétaires de machines, savoir :

« *La presque totalité des soupapes, dont les poids et surfaces annulaires de « contact ont été régularisés, lève sous une pression d'environ une demi-atmos- « phère au-dessous de celle pour laquelle elles sont chargées.*

« Il résulte de là que, pour avoir leur pression, les propriétaires de machines « surchargent leurs soupapes souvent de poids très considérables, et sont peut-être plus « exposés aux chances d'explosion qu'auparavant. »

jamais cru, car nous estimons qu'il constitue non une imprudence, une témérité, une folie, comme on l'a toujours dit, mais une bêtise, créant un danger immédiat et certain sans nulle compensation, le chauffeur n'ayant aucun intérêt à le faire.

Il est certain que, souvent, les chauffeurs ont été accusés, à tort, d'avoir calé les soupapes.

A l'occasion de l'explosion d'une chaudière de locomotive, survenue à Moulins, le 10 novembre 1862, la Compagnie des chemins de fer de Lyon a imputé cet accident à l'excès de pression et a accusé le mécanicien d'avoir calé les soupapes de sûreté.

Nous devons dire, à l'honneur de M. Jutier, Ingénieur des Mines, qui a instruit cette affaire, qu'il a déclaré ne pas partager cette opinion et estimer que cette explosion est due à la rupture préalable des entretoises.

Sans doute, il y a eu des explosions produites par le calage des soupapes, mais ce calage doit-il être imputé au chauffeur ?

Il faudrait, il nous semble, en avoir des preuves bien certaines avant d'accuser cet ouvrier qui est, la plupart du temps, tué par l'explosion.

Voici cependant un cas que nous pouvons appeler exceptionnel.

Une chaudière cylindrique à un bouilleur avait été installée à Nicey (Côte-d'Or) par les soins du constructeur de la machine, un sieur Robert.

« Le 7 août 1846, dit le rapport officiel, la machine fut mise en « activité par le fils du mécanicien Robert, en présence du proprié- « taire, M. Gillon, et de son fermier, le sieur Bréjon, qui devait désor- « mais être seul chargé de la conduite du feu. Le jeu de la machine « étant devenu un instant difficile, le jeune Robert n'hésita pas, pour « vaincre cette résistance momentanée, à caler les soupapes de sûreté « de la chaudière.

« Ce fut ce mauvais exemple qui détermina l'accident du 18 août.

« Effectivement, le 18 août, à onze heures du matin, le sieur Bré- « jon, meunier fort inintelligent, éprouvant de nouveau une résistance « dans le jeu de sa machine, ne trouva rien de mieux à faire que « d'imiter le fils du constructeur Robert; il cala avec des coins en bois « et en fer les deux soupapes de sûreté de la chaudière et revint dans « la chambre de la machine, où il ne tarda pas, en outre, à fermer le « robinet d'admission de la vapeur. Immédiatement une détonation « violente se fit entendre, l'explosion avait eu lieu. »

L'explosion d'une chaudière locomobile survenue à Commentry

(Allier), le 30 mai 1875, qui a fait trois victimes, s'est « produite peu « d'instants après le moment où l'on a mis la chaudière en feu pour la « première fois depuis son installation et alors que le *propriétaire* « venait de caler une des soupapes pour arrêter une fuite qui s'y était « déclarée ».

Les circonstances de l'explosion d'une chaudière locomobile qui s'est produite le 10 septembre 1888, à Ciron (Indre), sont très instructives à cet égard.

« Le chauffeur ne réussissant pas à faire démarrer la batteuse, dit « le rapport officiel, a fait tomber les courroies de transmission et « activé le feu pour faire monter la pression. La chaudière a volé en « éclats dans toutes les directions..... Huit hommes ont été tués sur « le coup et un mortellement blessé ; quatre autres blessés. Dégâts « matériels peu importants. »

Cause : « Excès de pression, imputable à l'imprudence et à l'inex- « périence du chauffeur et de l'entrepreneur de battage. Le manomètre « était faussé et les deux soupapes de sûreté calées. »

Or, il résulte de l'enquête, faite à cette occasion, par les Ingénieurs des Mines et rapportée par M. Olry, Ingénieur en chef des Mines, dans une note à la Commission centrale, que, si le manomètre a été faussé, peut-être par l'effet de l'explosion, il n'y a aucune certitude sur le calage des soupapes ; au contraire, des témoins affirment que les soupapes crachaient, ce qui exclut le calage, et il a été reconnu, d'ailleurs, que le propriétaire, M. Lamoureux, « s'était littéralement suspendu « aux leviers des soupapes pour s'opposer à la sortie de la vapeur. C'est « même à ce moment que l'explosion s'est produite. »

Du reste, les soupapes auraient été retrouvées calées après l'explosion.

Sans doute, il y a eu surpression, et peut-être surpression considérable, mais nous devons faire remarquer ici que c'est le propriétaire lui-même, M. Lamoureux, qui est l'auteur de cette surpression et qui a assurément ordonné le calage, s'il a réellement existé.

« Les effets de cette explosion ont été terribles : huit hommes parmi « lesquels le mécanicien et l'entrepreneur de battage, grièvement brû- « lés par la vapeur ou atteints par des fragments de locomobile, ont été « tués. Les corps des victimes ont été en général projetés à de grandes « distances ; ceux du sieur Lamoureux et d'un autre ouvrier, lancés « contre la porte de la grande cour..... l'ont défoncée. Il y a eu, en « outre, cinq blessés. Quatre d'entre eux, dont l'un a succombé, ont « simplement subi des brûlures plus ou moins graves ; le cinquième,

« un enfant, a été projeté à une vingtaine de mètres, et a été renversé « si violemment qu'il a eu les deux cuisses brisées. »

Si le calage des soupapes de sûreté était, réellement, le fait du chauffeur agissant à l'insu de l'exploitant, il serait bien simple de l'empêcher, en employant le manomètre enregistreur ou simplement le manomètre *a maxima.*

« On a proposé, dit M. Callon, Inspecteur général des Mines, pour « éviter ces manœuvres imprudentes, les manomètres *a maxima* qui « conservent une trace permanente de ces surcharges accidentelles et « permettent ainsi de contrôler les chauffeurs. Mais ces appareils, que « les règlements n'imposent pas, ne se sont pas répandus dans la pra- « tique. »

Mais pour quelle raison n'emploie-t-on pas ces appareils si simples? M. Couche, Inspecteur général des Mines, le dit en ces termes :

« Si les dispositions de ce genre sont tombées peu à peu en désué- « tude, ce n'est pas du tout qu'on ait reconnu leur inutilité, c'est par « suite d'une sorte d'entente. Les moyens de contrôle, qui naturelle- « ment déplaisent à ceux qui les subissent, ne déplaisent guère moins « parfois à ceux qui les exercent. »

C'est-à-dire qu'en réalité, si les soupapes de sûreté sont calées, c'est par l'ordre de l'industriel, ou, tout au moins, avec son assentiment.

Au surplus, ainsi que nous l'établissons ailleurs, l'Administration manque de prudence en réduisant le rôle de la soupape de sûreté à la fonction de simple avertisseur automatique de l'excès de pression.

Si les constructeurs se bornaient à suivre, à l'égard des soupapes, les prescriptions du Décret du 30 avril 1880, il serait impossible, dans la pratique, de ne pas dépasser la pression indiquée par le timbre ; et, en cas d'arrêt subit de la machine ou dans toutes circonstances analogues, la pression de la chaudière s'élèverait rapidement et occasionnerait une explosion par excès de pression, comme si les soupapes étaient effectivement surchargées ou calées.

Le chauffeur doit, de temps en temps, ouvrir le robinet de purge du manomètre pour éviter que le tuyau ne s'engorge ; c'est la seule action qu'il puisse avoir sur le fonctionnement de cet appareil.

Quant aux clapets de retenue, la plupart d'entre eux, ne possédant pas de moyens de contrôle visibles, il est bien difficile au chauffeur de s'assurer de leur fonctionnement.

Outre les soins journaliers qu'il donne à la chaudière, le chauffeur doit encore faire le nettoyage intérieur ou y présider. Ce nettoyage ne peut être effectué que lors des arrêts du dimanche ou des jours fériés. On lui attribue la responsabilité de ce nettoyage, aussi bien que celle de toutes les réparations faites à la chaudière ou au fourneau.

Nous avons montré que le travail du chauffeur était aussi pénible qu'important. Il paraît donc indispensable, pour la sécurité publique, de ne charger de cet emploi que des hommes connaissant bien leur métier.

Il n'en est pas toujours ainsi : le chauffeur, ne faisant pas un travail productif ou rémunérateur pour l'industriel, est, la plupart du temps, considéré comme constituant une charge ou une dépense inutile ; on lui marchande son salaire, et trop souvent l'homme que l'on préfère est celui qui se contente du gain le moins élevé.

On prépose quelquefois au chauffage des chaudières de simples manœuvres ou d'incapables domestiques, sans aucune préparation préalable ; il en résulte naturellement des accidents, ainsi qu'il a été officiellement constaté, notamment lors de l'explosion du 26 juin 1870, survenue à une chaudière à deux bouilleurs d'un moulin à Mèves (Nièvre).

Nous avons même vu plusieurs fois des femmes absolument incapables faire fonctions de chauffeurs.

Très souvent enfin on impose au chauffeur des services auxiliaires indépendants de la chaudiere et de la machine, ou bien on lui confie, à vil prix, certains travaux dits à façon.

C'est très regrettable non seulement en raison des accidents qui peuvent en résulter, mais encore par suite du surcroît de consommation de combustible qui en est une conséquence inévitable.

Un bon chauffeur économise largement le salaire qu'on lui donne.

L'usinier se retranche parfois derrière l'impossibilité où il se trouve de reconnaître la valeur d'un chauffeur. On a, à plusieurs reprises, proposé d'exiger de ces ouvriers des certificats de capacité.

Il ne nous paraît pas que ceux qui ont été délivrés jusqu'ici soient bien sérieux.

Pour certains services, notamment pour ceux des bateaux à vapeur et des tramways, on exige que les mécaniciens soient commissionnés. Ces Commissions sont délivrées à la suite d'examens passés devant certains fonctionnaires désignés par l'Administration.

Nous avons été chargé, pendant de nombreuses années, de ces examens, et nous les avons fait subir suivant les instructions qui nous

ont été données. Il nous est donc bien facile de déclarer que ces examens constituent une pure formalité, et que la valeur de cette Commission est absolument nulle en ce qui concerne du moins la conduite du feu et les moyens propres à éviter les explosions. Il est plus facile à un médiocre ajusteur de se faire commissionner qu'à un bon chauffeur.

Depuis quelques années, il se fait dans plusieurs régions, notamment dans le département de la Seine, des cours oraux pour les chauffeurs; des examens suivent ces cours et certains certificats sont délivrés. Nous ne pouvons, en parfaite connaissance de cause, nous prononcer sur la valeur de ces certificats, mais les cours, tels qu'ils sont faits, n'ont pas notre approbation.

A la suite de conseils donnés dans un cours de ce genre, un chauffeur avait fait adopter, par son patron, un système d'appareil indicateur du niveau de l'eau dont le fonctionnement demande certaines précautions et certaines manœuvres qu'un cours oral ne pouvait pas faire connaître suffisamment.

Peu de temps après l'installation de l'appareil, la chaudière que conduisait ce chauffeur fit explosion par suite de manque d'eau, et cet ouvrier fut brûlé.

Nous ne croyons pas que les chauffeurs puissent reconnaître la valeur d'un combustible par sa teneur en carbone, en hydrogène, etc.; c'est par sa valeur sur la grille, par l'éclat de sa combustion, par la quantité de cendres ou de mâchefer qu'il produit qu'il s'en rendra compte.

L'explication de certains phénomènes, obtenus dans des expériences de laboratoires, comme la caléfaction ou état sphéroïdal, l'eau surchauffée, etc., est souvent mal comprise par eux, et, les induisant en erreur, peut devenir nuisible.

Lors d'une explosion que nous avons eu à instruire il y a quelques années et qui a fait deux victimes, le chauffeur, qui n'avait pas été atteint, crut devoir nous prévenir tout d'abord que « la cause certaine « de l'explosion était l'état sphéroïdal. Je suis lauréat de cours et je « connais fort bien la question, a-t-il ajouté; il n'y a rien à faire pour « éviter un pareil accident quand il doit se produire! »

Pour nous, la valeur du chauffeur se reconnaît uniquement devant la grille, la pelle à la main; elle réside dans le chauffage, le décrassage, le jeu du registre, l'alimentation, la surveillance et l'entretien des appareils de sûreté, et dans toutes les opérations pratiques qui engendrent ou accompagnent la production de la vapeur; c'est, les yeux

fixés sur le manomètre et les indicateurs du niveau de l'eau, qu'il doit régler l'allure de sa chaudière suivant les exigences de la machine ; et ce n'est que devant le générateur, muni des appareils de sûreté en marche, qu'on peut initier les chauffeurs aux diverses fonctions qu'ils sont appelés à remplir.

Des faits et des observations qui précédent, nous pouvons conclure que, s'il est d'une nécessité absolue de ne confier les fonctions de chauffeur qu'à un homme possédant le savoir et l'expérience nécessaires, cependant, par suite de l'insuffisance et même des défauts des appareils de sûreté actuellement en usage, le chauffeur, quelle que soit sa valeur, quelle que soit son expérience, peut être induit en erreur.

C'est donc commettre une grave injustice que d'attribuer une explosion à l'incurie du chauffeur, lorsque cette négligence n'est pas démontrée par des preuves irréfutables.

Enfin, personnellement, nous estimons que le meilleur moyen de former un corps de chauffeurs intelligents, capables et expérimentés, c'est de leur donner un salaire en rapport avec l'importance de leurs fonctions.

CHEFS D'INDUSTRIE ET PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR

Nous l'avons toujours constaté avec étonnement, les chefs d'industrie ou les propriétaires ne s'occupent pas suffisamment de leurs appareils à vapeur. Cette négligence dégénère parfois en incurie ; c'est la cause première de la plupart des explosions.

Le plus souvent, il faut l'avouer, ils croient, de bonne foi, à l'efficacité des règlements.

Qu'elle soit neuve ou d'occasion, pourvu qu'elle ait été acceptée et timbrée par l'Administration, la chaudière leur semble solide, et les quelques contraventions relevées lors de la visite du contrôleur leur paraissent sans importance, puisqu'elles ne sont pas poursuivies !

Tant qu'une réglementation subsistera, il sera bien difficile de leur en faire sentir les inconvénients, inconvénients que nous avons énumérés en parlant des règlements.

Les industriels se retranchent souvent derrière leur incompétence ! Un homme intelligent peut, après quelques jours seulement d'observation, et sur les indications de spécialistes, connaître les points principaux qui ont trait à la sécurité. Une pression sensiblement constante, un niveau d'eau peu variable, une grille peu chargée, un feu clair et égal vu par réflexion dans l'eau du cendrier, sont les signes ordinaires des bons soins apportés par le chauffeur dans la conduite de la chaudière. La présence de l'eau dansant dans le tube, le mouvement de l'index du flotteur, le jet de vapeur des soupapes en les soulevant légèrement lui indiqueront généralement le bon fonctionnement des appareils de sûreté.

Cet examen ne nécessite que quelques instants.

Si les industriels s'adressaient pour la construction de leurs appareils à des chaudronniers sérieux, s'ils confiaient leur installation et les visites intérieures et extérieures à des hommes compétents dont ils suivraient les conseils, s'ils s'astreignaient à une inspection sommaire et quotidienne du fonctionnement des appareils de sûreté ; enfin, s'ils employaient des chauffeurs d'une capacité et d'une expérience reconnues, il n'y aurait, pour ainsi dire, jamais d'explosions.

EXAMEN

DES CAUSES DES EXPLOSIONS

DE

CHAUDIÈRES A VAPEUR

Classification générale

Toutes les explosions proviennent d'une au moins des neuf causes suivantes :

MANQUE DE RÉSISTANCE . . { de l'appareil neuf ; des réparations ; des accessoires ;

DIMINUTION DE LA RÉSISTANCE PRODUITE PAR . . { l'usage ; la surchauffe ; les avaries accidentelles ;

EXCÈS DE PRESSION ;
MODIFICATION BRUSQUE DANS L'ÉQUILIBRE DU SYSTÈME ;
CAUSES PROBLÉMATIQUES OU INDÉTERMINÉES.

Nous allons les examiner en détail.

MANQUE DE RÉSISTANCE DE L'APPAREIL NEUF

Lors de l'explosion d'une locomotive à la gare de Loos, près de Lille, le 12 décembre 1876, la chaudière a éclaté après cinq mois de service seulement ; elle s'est brisée en nombreux fragments ; l'un d'eux a causé des dégâts à une maison située à 200 mètres.

Cette chaudière, d'après l'Ingénieur des Mines qui a instruit l'explosion, paraît avoir présenté tous les défauts possibles de matière et de construction : « Mauvaise qualité et mauvais travail du métal formant « l'enveloppe extérieure de la chaudière. A l'essai, les tôles ont donné « une résistance de 30 kilogr. au plus à la rupture et un allongement « préalable de 2 à 4 °/₀. Cette dernière circonstance indique un métal « aigre et cassant impropre à la construction des chaudières...

« Le travail de chaudronnerie était mal fait; les trous de rivets ne se « correspondaient pas exactement.

« L'assemblage du corps cylindrique et de la plaque tubulaire de « boîte à fumée était formé par une cornière ; en cette partie, les rivets « étaient trop faibles pour les épaisseurs des tôles. »

Ainsi, la défectuosité d'une chaudière neuve peut provenir, soit des matières employées, soit de la construction elle-même.

MAUVAISE QUALITÉ DES MATIÈRES

Fer. — Le métal le plus employé jusqu'ici pour la construction des générateurs est le fer.

Le fer livré par les forges n'est pas pur, et, selon les substances qu'il renferme, il est aigre, cassant à chaud ou à froid, plus ou moins ductile ou malléable.

C'est surtout par la ductilité qu'on reconnaît la qualité des tôles propres à la construction des chaudières à vapeur. « Une tôle aigre et « cassante, disent MM. Richard et Baclé, est dangereuse malgré sa plus « grande résistance aux essais à la traction. Une rupture dans une tôle « douce ne se propage pas tout d'un coup d'un bout à l'autre de la « virole, elle laisse souvent la vapeur s'échapper sans rien détruire « autour d'elle; l'explosion se borne à un écoulement brusque de vapeur

« par une déchirure plus ou moins large. Il n'en est jamais de même « avec une tôle aigre et cassante ; la chaudière éclate, et l'explosion est « désastreuse. Il faut remarquer que ces tôles peuvent céder à la « pression de la vapeur, même sous une tension inférieure à leur « tension de rupture, parce que la chaudière n'est pas immobile comme « l'éprouvette que l'on essaye dans un laboratoire, mais dans un état « de vibration. Il est difficile de préciser l'influence de ces vibrations ; « mais on ne peut contester leur importance d'autant plus grande que « le métal est plus sec. »

En général, une tôle pour chaudière à vapeur doit résister à un effort de 30 à 35 kilogr. par millimètre carré, avec un allongement proportionnel d'environ :

6 à 8 °/₀ pour les parties simplement enroulées, non en vue du foyer ;
10 à 12 °/₀ pour les parties simplement enroulées, en vue du foyer ;
12 à 15 °/₀ pour les parties embouties.

Le fer laminé n'est pas absolument homogène, des oxydes ou des silicates n'ont pas été chassés par le cinglage ou le laminage ; ces impuretés, interposées entre les fibres du métal, facilitent les fissures et leur extension ; il arrive aussi que les feuilles se dédoublent et donnent naissance à des pailles.

« Une *paille*, disent les Associations de propriétaires d'appareils à « vapeur, est un dédoublement de la tôle avec soulèvement d'une « fraction de son épaisseur, la partie dessoudée ne s'étendant que sur « une superficie d'un décimètre carré au maximum.

« Une *tôle pailleuse* est une tôle présentant plusieurs pailles ou une « dessoudure de plus d'un décimètre carré de superficie. »

Sous les numéros 1 à 9, M. Cornut (1889) en présente des échantillons fort intéressants.

Une paille dans l'épaisseur d'une tôle, dit M. Hirsch, constitue une cause grave d'accident.

L'explosion d'une chaudière cylindrique survenue le 24 janvier 1865 dans une laverie mécanique de minerais, à Maubeuge, a eu pour cause, dit le rapport officiel, la « mauvaise qualité de la tôle : métal « mal soudé. La feuille qui s'est rompue était divisée sur son épaisseur « de manière à former deux lames. »

13 ouvriers ont été atteints : 3 tués et 10 blessés.

Acier. — Depuis quelques années, l'acier est employé avec succès dans la construction des chaudières ; plus résistant, et surtout plus ductile que le fer, il est aussi plus homogène ; mais si cette homogénéité

est une qualité qui évite les pailles, elle a pour inconvénient de faciliter le développement des fissures accidentellement produites; l'emploi des tôles d'acier nécessite donc plus de précautions que celles de fer, il est prudent de ne pas poinçonner les trous, mais de les percer ou tout au moins de les finir au foret; il faut éviter de cisailler les tôles et il est très utile de les recuire lorsqu'elles ont été forgées.

On peut demander aux tôles d'acier, fabriquées pour cet usage, de résister à une pression de rupture de 40 kilogr. par millimètre carré, avec un allongement proportionnel de 25 %.

La nature de l'acier étant assez variable, il importe de connaître les résultats d'essai de toutes les tôles et surtout de n'employer que des aciers de bonne marque.

L'explosion survenue le 26 septembre 1872 à une locomotive de la Compagnie d'Orléans s'est produite, dit le rapport officiel, « au moment « où la machine manœuvrait en tête du train (gare de Limoges); la « calotte qui surmontait le dôme a été arrachée et projetée à une « centaine de mètres. La rupture a eu lieu au-dessus de la rivure dans « la partie médiane de la surface d'emboutissage.

« Cet accident est dû à l'altération du métal (acier) due à une sur- « chauffe produite soit à la forge, soit beaucoup plus probablement à « l'emboutissage. »

C'est à la défectuosité du métal (acier) qu'il faut attribuer l'explosion d'un cylindre survenue le 19 mai 1884, à la papeterie d'Etival, par suite de la rupture de « l'un des tampons qui s'est brisé en un grand nombre « de morceaux et sur les 11/12mes de sa circonférence. Ce tampon était « en acier fondu renforcé par six fortes nervures. »

Dans une séance du VIIIme Congrès des Ingénieurs en chef des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur, M. Vinçotte a fait, au sujet des tôles d'acier, la très intéressante communication suivante :

« J'arrive à l'accident du *Livadia*. Ce navire est un yacht construit « pour l'empereur de Russie ; la question des frais était donc secondaire, « et on n'avait à prendre en considération que l'excellente qualité des « matériaux et une exécution irréprochable. Le navire portait dix « chaudières de 4^{m}36 de diamètre et de 5 mètres de longueur. Les « corps étaient construits en acier Siemens-Martin de la meilleure « qualité, de 19 millimètres d'épaisseur; le système de rivure employé « est bon.

« Les foyers étaient en fer.

« Les chaudières furent soumises, quant à la fabrication, à tous les « essais et analyses exigés et les matériaux trouvés excellents.

« Les trous de rivets furent poinçonnés à 2 millimètres près et, après « cintrage et ajustage, amenés à la dimension voulue par un alésage.

« Une des tôles tomba sur un objet dur et, non sans inquiétude, on « constata de petites fentes. On démonta ce qui avait été assemblé et on « soumit les tôles au recuit. Après achèvement de la chaudière, elle « devait être éprouvée à 140 livres par pouce carré, mais à 120 livres « (8 kilos) la tôle se fendit dans les lignes de rivets, aux bords des « trous. Une deuxième chaudière fut trouvée fendue avant l'essai à la « presse ; à la suite de cet accident, tous les corps extérieurs furent « rebutés, et de nouvelles tôles, toujours en acier, commandées à une « autre maison. Les recherches sur les causes des avaries furent très « laborieuses. On trouva que le métal contenait de 0,06 à 0,12 de carbone « et 0,045 à 0,063 de phosphore, proportions admises. Sur les conseils « d'un métallurgiste distingué, quatorze bandes d'essai furent décou- « pées et analysées séparément. Sur l'une des faces, la teneur en « carbone était de 0,09 ; au milieu de 0,20 ; et, sur l'autre face, de « 0,10. Le métal n'était donc pas parfaitement homogène ou l'atmos- « phère du four à recuire était oxydante et avait décarburé partielle- « ment les tôles.

« Dans les mêmes échantillons, la proportion de phosphore fut « trouvée de 0,040 sur les deux faces et de 0,095 au milieu. Les « différents échantillons, pris sur la même feuille à des endroits diffé- « rents, n'avaient pas la même composition.

« Les essais mécaniques faits sur des bandes prises à une certaine « distance des rivures donnèrent d'excellents résultats : 45 à 48 kilos « de résistance, 18, 19 et 20 °/₀ d'allongement. Pris dans les rivures, « il y eut des échantillons qui se rompirent au premier coup de marteau. « En prenant les bandes découpées en pleine tôle et en les poinçonnant, « elles devenaient cassantes. Ce fait ne se présentait plus en recuisant « les tôles après poinçonnage.

« On a donc constaté les points suivants : les tôles souffraient du « poinçonnage et avaient été mal recuites. »

Ajoutons que, depuis cette époque, la fabrication des tôles d'acier s'est considérablement perfectionnée.

Cuivre. — Le cuivre possède une ductilité bien supérieure à celle du fer, il est aussi très homogène ; mais sa résistance est beaucoup plus faible surtout après avoir subi un recuit. Son prix trop élevé restreint son emploi ; cependant on s'en sert encore dans certains cas, notamment pour l'établissement des foyers de locomotives ; pour tubes et

tuyaux; pour entretoises; enfin pour diverses pièces accessoires nécessitant quelque peu d'élasticité. Mais, par suite de sa malléabilité, ce métal est usé, à la longue, surtout aux coudes, par les sables, les boues et les cendres, ce qui le fait céder quelquefois.

M. Cornut (1889) a présenté sous le n° 242, « la partie recourbée d'un « tuyau de vidange en cuivre, pénétrant dans une communication d'une « chaudière cylindrique à deux bouilleurs. Le dégagement de la vapeur « par la communication, dit-il, a usé le cuivre et a fini par trouer le « tuyau. »

Nous pensons que cette usure a eu pour cause principale, non le frottement de la vapeur, mais celui des boues et sables en suspension dans l'eau et entraînés par la circulation assez active dans le cuissard.

L'explosion d'une chaudière à vapeur verticale à foyer et cheminée intérieurs, survenue le 1er août 1882, à Allevard, doit être attribuée à une cause semblable : la cheminée en cuivre de 20 centimètres de diamètre, a été usée, d'un côté, par le frottement des cendres et des escarbilles entraînées par le tirage forcé. La cheminée s'est déchirée.

Laiton. — On utilise le laiton pour les tubes de certaines chaudières.

Ce métal a un grave inconvénient : lorsqu'on le porte à une température élevée, il s'altère; il s'y développe, suivant l'expression consacrée, des traits de feu, et le métal se brise comme du verre.

Fonte. — Très résistante à la compression, la fonte ne présente aucune garantie quand on la fait travailler par extension ; elle se fend facilement sous l'action du choc du marteau lors du rivetage.

Son emploi dans les chaudières à vapeur est donc dangereux.

Cependant on l'utilise pour l'établissement des bouchons qui terminent et ferment à l'extérieur les bouilleurs et les dômes des types de chaudières les plus répandues. « Ces bouchons donnent lieu à peu « d'accidents, dit M. Cornut, mais quand une rupture se produit, la « catastrophe peut être terrible par suite du flot d'eau chaude et de « vapeur qui fait irruption dans le local des chaudières. »

Dans une note qu'il a faite au sujet des accidents dus à la rupture de ces bouchons et qui a paru dans le compte rendu des séances du treizième Congrès des Ingénieurs en chef des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur, M. Cornut donne, d'après les documents officiels, les renseignements les plus intéressants sur les quatre explosions suivantes, arrivées dans ces dernières années :

1° 21 février 1881. — Forges à Creil (Oise) : Trois ouvriers blessés ; trois autres atteints ;

2° 22 février 1886. — Forges de l'Adour : Quatre hommes tués ; quatre autres blessés ;

3° 14 août 1886. — Concession de Montrambert, puits Marseille : Un ouvrier assez grièvement blessé ;

4° 12 décembre 1887. — Sucreries d'Aulnois-sur-Laon : Trois ouvriers tués et un blessé.

« Dans les trois premiers accidents dont nous venons de parler, dit-« il, il me paraît intéressant de faire remarquer que les enquêtes offi-« cielles constatent que les défauts sont dus à un vice de construction « et qu'ils datent de la construction même du générateur.

« Ils existaient donc avant l'essai réglementaire qui n'a nullement « révélé ces défauts si graves dans leurs conséquences et a pu, au « contraire, les aggraver considérablement. » (1).

On se sert encore de la fonte pour établir les boîtes de raccord ou les manchons d'accouplement des tubes dans les générateurs multitubulaires qui donnent lieu, du reste, à de nombreux accidents.

DÉFAUTS DE CONSTRUCTION DE L'APPAREIL

On évitera les explosions causées par le manque de résistance de la chaudière neuve, en employant à sa construction les règles indiquées par la théorie de la résistance des matériaux.

Il est prudent de ne pas faire travailler les assemblages au-dessus du cinquième de la résistance à la rupture.

Pour la Belgique, l'article 35 de l'arrêté royal du 28 mai 1884 porte que : « Une chaudière à vapeur ne peut fonctionner à une pression dépas-« sant le quart de la pression qui ferait rompre quelqu'une de ses « parties. Elle devra cesser de fonctionner, ou être timbrée à une pression « inférieure, dès qu'elle ne satisfera plus à cette condition. »

Il est difficile de formuler des règles générales pour l'établissement des diverses parties de la chaudière.

« Le règlement anglais du « Board of Trade » dans lequel on trouve « des renseignements pratiques très détaillés montre, dit M. Delaunay,

(1) Outre l'accident de Montrambert, ci-dessus indiqué et mentionné au n° 26, notre relevé contient aussi l'explosion causée par la rupture de la calotte en fonte d'un dôme de locomotive, survenue le 17 juillet 1879, à Caen. Elle figure sous le n° 22.

« à quelles complications et à quelles minuties on se trouve logique-
« ment et forcément entraîné, lorsqu'on veut substituer l'action officielle
« à l'initiative et à la responsabilité individuelles ; on est fatalement
« conduit, en suivant cette voie, à aboutir à ce double résultat, d'une
« part, d'édicter des règles si étroites qu'elles paralysent la marche du
« progrès, et, d'autre part, d'être cependant contraint, à tout moment,
« de modifier les règles établies, pour suivre le courant progressif qui
« ne peut être complètement enrayé. »

C'est en tenant compte des conditions diverses de l'établissement d'une chaudière, de la nature et de la qualité des tôles qu'il emploie qu'un constructeur évitera les accidents provenant d'un *manque d'épaisseur, d'armatures, d'entretoises et de tirants insuffisants.*

Il est rare que les épaisseurs de tôle des chaudières neuves soient assez faibles pour être la cause d'accidents sérieux ; c'est cependant à cette faible épaisseur que l'Ingénieur des Mines attribue l'explosion d'une chaudière verticale à foyer intérieur, qui s'est produite à Paris, le 2 décembre 1883, et qui figure au n° 5 de notre relevé.

TABLEAU DES ÉPAISSEURS EN MILLIMÈTRES DES TÔLES

POUR UNE PRESSION DE 6 KILOS

DIAMÈTRE en mètres	ACIER		FER				
	CHEMINS de fer autrichiens	COMPAGNIE générale transatlant.	CHEMINS de fer français	MARINE française	PARTIES embouties	FOYERS intérieurs	PLAQUES tubulaires
0.50	3.8	4.9	5.0	6.7	8.0	9.5	18.0
0.75	4.7	5.9	6.5	8.5	11.0	12.0	19.0
1.00	5.6	6.8	8.0	10.5	13.0	15.0	20.0
1.10	6.0	7.2	8.6	11.2	14.5	16.0	20.0
1.20	6.3	7.6	9.2	12.0	15.5	17.0	20.0
1.30	6.7	8.0	9.8	12.8	16.5	18.0	20.0
1.40	7.0	8.4	10.4	13.4	17.5	19.0	21.0
1.50	7.4	8.8	11.0	14.0	19.0	20.0	21.0
1.60	7.8	9.2	11.6	15.0	20.0	21.0	22.0
1.70	8.2	9.5	12.2	15.6	21.0	22.0	22.0
1.80	8.5	9.9	12.8	16.4	22.0	23.0	23.0
1.90	8.8	10.3	13.4	17.1	23.0	24.0	23.0
2.00	9.2	10.7	14.0	18.0	24.0	25.0	24.0
2.25	10.1	11.6	15.5	19.7	26.5	»	25.0
2.50	11.0	12.6	17.0	21.6	29.0	»	25.0
3.00	13.0	14.5	20.0	25.2	33.0	»	30.0

Les constructeurs sont loin d'être d'accord sur les épaisseurs pratiques à donner aux tôles employées à la construction des chaudières à vapeur.

Le tableau que nous donnons à la page précédente indique, pour la pression de 6 kilogr., tant pour les tôles d'acier que pour celles de fer, quelques limites qu'il importe de ne pas dépasser.

Pour certaines parties soumises à de grandes fatigues, comme les cuissards des chaudières à bouilleurs, l'épaisseur des tôles ne doit pas descendre au-dessous de 12 m/m, quel qu'en soit le diamètre.

Les parties planes doivent toujours être armaturées et entretoisées ; et il est nécessaire que leur épaisseur conserve une certaine importance.

Pour la pression de 6 kilogr., les chiffres suivants sont très convenables.

Épaisseur des tôles en m/m . .	13	13.5	14.5	15	15.5	16.5
Diamètre des entretoises m/m .	20	21	22	23	24	25
Ecartement des entretoises m/m.	130	135	140	145	150	155

C'est le défaut d'armatures qui a produit l'explosion d'un générateur tubulaire à deux bouilleurs survenue le 7 novembre 1878, à Carvin, laquelle a fait 9 victimes.

« Le fond plat d'avant s'est déchiré, dit le rapport officiel, il a été « arraché par le haut, suivant la ligne des rivets qui le fixaient à la « cornière. Cet accident provient d'une construction vicieuse (emploi « sur le fond antérieur d'une tôle trop mince et de mauvaise qualité « pour une grande surface insuffisamment armée; insuffisance des « armatures de ce fond). »

L'explosion d'une chaudière, genre locomotive, à Lyon, le 20 mai 1876, a été produite par l'insuffisance des entretoises. Les parois de la boîte à feu et du foyer étaient matelassées, de sorte que les entretoises ne tenaient presque plus dans les tôles. Les têtes de ces entretoises qui avaient été matées plusieurs fois n'existaient pour ainsi dire plus.

A propos de l'explosion d'une chaudière de locomotive survenue à Moulins, le 10 novembre 1862, et que l'Ingénieur des Mines attribue à la rupture préalable d'entretoises, il fait remarquer qu'un assez grand nombre de ces entretoises cassent; elles sont souvent insuffisantes; car, dans certains cas, il a reconnu que les parois verticales du foyer étaient capitonnées.

Notre relevé contient, sous le n° 30, l'explosion d'une chaudière horizontale cylindrique tubulaire à foyer intérieur, survenue le 19 mai 1886, à Bougival, due à la rupture d'entretoises qui avaient été établies par le constructeur, dit l'Ingénieur des Mines, trop faibles et trop espacées.

Les entretoises en fer se corrodent assez vite; il est préférable de les établir en cuivre et il est convenable de les forer de manière à être averti du moment où elles se cassent. Le diamètre des trous doit être d'environ 6 à 7 millimètres. La rupture ayant lieu, le plus souvent, près des têtes, il serait suffisant de forer seulement les bouts; mais l'avantage n'est pas sensible.

Perforées entièrement, les entretoises peuvent servir de fumivore; cependant l'introduction de l'air ronge leurs têtes et les parties des tôles du foyer qui les portent.

C'est à l'insuffisance d'un tirant qu'est dû l'accident survenu le 31 mai 1882 au générateur tubulaire d'un bateau au Havre. Un des tubes enlevé pour cause de fuites, le jour de l'accident, avait été remplacé par un tirant fileté à ses deux bouts et reliant les deux bouchons en fer qui remplissaient les deux trous des plaques à tubes.

Le tirant s'est rompu suivant un des filets de la vis, les bouchons ont été déplacés, et l'eau chaude a brûlé deux mécaniciens.

Sous le n° 202, M. Cornut (1889) a exposé des « portions d'un « tirant reliant une plaque tubulaire à la paroi cylindrique du corps « tubulaire; le tirant s'est cassé au droit d'un des rivets qui le fixait « au corps cylindrique, ce rivet étant le plus voisin de la partie courbée « du tirant. Le tirant reliant la même plaque tubulaire au corps cylin- « drique, symétriquement, était cassé en même temps et de la même « façon. Section insuffisante du métal au droit de la cassure, et direc- « tion oblique du tirant peu favorable à la résistance. »

Lorsque les tubes d'un corps de chaudière sont bien mandrinés et qu'on a soin de tenir les trous légèrement coniques, ils peuvent faire fonction de tirants, mais il faut apporter de grands soins à ce travail, sans quoi on s'expose à une explosion semblable à celle survenue dans une brasserie de Mons-en-Barœul (Nord), concernant une chaudière cylindrique tubulaire dont les plaques à tubes se sont bombées, par suite de l'absence de tirants, et se sont détachées des tubes. Le chauffeur a été tué et les dégâts matériels ont été considérables.

Ce sont surtout les parties tourmentées, travaillant à la déformation qu'il faut munir d'armatures convenables. C'est au manque de ces précautions que l'on doit attribuer l'explosion survenue le 13 décem-

bre 1874, à la chaudière du bateau *le Cettois*, au port de Cette. La chaudière, cylindrique tubulaire à foyers intérieurs, était surmontée d'un réservoir de vapeur formé d'un demi-cylindre d'une longueur égale à celle de la chaudière et fixé sur elle par ses génératrices libres. La tôle de ce demi-cylindre travaillait éminemment à la déformation ; non armaturée, elle devait infailliblement rompre ses attaches ; c'est ce qui a causé l'explosion.

L'explosion d'une chaudière de forme analogue traversée par un tube et surmontée d'un dôme de vapeur régnant sur presque toute la longueur, survenue, le 3 avril 1867, dans une fabrique de verres d'optique à Ligny (Meuse), s'est produite dans les circonstances suivantes: « La rupture principale, dit le rapport officiel, a eu lieu suivant « la ligne horizontale de rivets qui relie le corps de la chaudière « avec le dôme de vapeur.

« D'autres déchirures se sont produites, notamment aux parties « correspondantes aux patins et oreilles. Le tube intérieur a été « arraché et lancé à 15 mètres, avec le fond antérieur de la chaudière.

« La masse de vapeur et d'eau s'est répandue dans les locaux envi- « ronnants qu'elle a bouleversés. L'explosion s'est faite au moment de « la *première mise en feu de la chaudière*. Cinq ouvriers (dont le « chauffeur) ont été tués et quatorze ouvriers travaillant dans le voisi- « nage grièvement blessés. Ils ont été ou brûlés par la vapeur ou « atteints par les décombres. Dégâts matériels importants. »

Mais l'Ingénieur ne donne pas à cet accident la cause indiquée pour l'explosion précédente ; il l'attribue à la « négligence du chauffeur qui « a laissé le niveau de l'eau s'abaisser au-dessous des carneaux et à la « disposition vicieuse du fourneau qui a aggravé les conséquences de « cette négligence. Les carneaux notamment s'élevaient, dit-il, presque « jusqu'à l'arête supérieure du corps cylindrique. Le tube indicateur « et le flotteur ne fonctionnaient pas. »

Ces circonstances du manque d'eau sont bien problématiques : la mort du chauffeur, la destruction de la chaudière, ont privé l'Ingénieur des Mines de renseignements certains. Il est bien étonnant, du reste, qu'une chaudière mise en feu pour la première fois ait tous ses appareils indicateurs paralysés. En l'absence de coup de feu bien caractérisé, il nous paraît, au contraire, tout naturel d'admettre que le vice de construction précédemment indiqué a causé l'explosion dès la première mise en feu.

Lors de l'explosion d'une chaudière, de forme analogue, arrivée le 20 juin 1872, à Tourcoing (Nord), qui a tué le chauffeur et causé des

dégâts considérables, l'Ingénieur des Mines a essayé d'appliquer la même cause ; ses explications sont encore plus embarrassées : « Cette « explosion est due, dit-il, à la négligence du chauffeur qui a paralysé « le jeu de l'indicateur de niveau, a laissé baisser le niveau de l'eau et « a permis une vive ébullition *causée en partie par un incident resté « indéterminé.* »

Voici l'appréciation d'un autre Ingénieur des Mines sur la cause d'une semblable explosion survenue le 16 mai 1870, dans une briqueterie à Rhinau (Bas-Rhin) : « Le corps cylindrique extérieur représentait en « section une circonférence complète ; le foyer n'en représentait que les « trois quarts, en sorte que la partie qui comprenait l'eau et la vapeur « avait la forme d'un croissant renversé.

« La tôle inférieure du corps cylindrique extérieur, servant de tirant, « maintenait les deux extrémités du croissant ; mais elle avait été « percée d'évidements de la largeur entière de la grille, de sorte que « la partie restante de la tôle était d'une résistance insuffisante, en « raison de sa faible section et de sa courbure. »

Ces différences d'appréciation sur les causes d'explosions semblables, survenues à des appareils de même forme, sont d'autant plus à noter qu'en cherchant à s'appuyer sur les causes classiques de l'abaissement du niveau et à accuser d'incurie les chauffeurs qui sont morts victimes de l'explosion, les Ingénieurs des Mines se trouvent en face de difficultés sérieuses qui semblent combattre leur opinion.

A la suite de ces observations, il est intéressant de lire l'étude que M. Cornut (1878) a faite sur quelques accidents survenus à plusieurs chaudières d'une construction analogue. C'est spécialement à la forme peu résistante de ces chaudières et à l'absence d'armatures suffisantes qu'il attribue ces accidents.

Certaines pièces de chaudières à vapeur ont besoin d'être travaillées à la forge soit pour l'*emboutissage des tôles* ou le rabattement d'un collet ; ce travail ne peut se faire sans qu'il y ait une diminution sensible dans l'épaisseur de la tôle, le constructeur doit en tenir compte.

Sous le n° 120, M. Cornut (1878) présente un échantillon remarquable. « Cette pièce, dit-il, qui est une des plus curieuses de notre « musée provient d'un vice de construction qu'il était bien facile « d'éviter. »

Il s'agit du fond supérieur d'un bouilleur intérieur vertical lequel était embouti à la façon ordinaire, c'est-à-dire de manière à être aplati sous l'action de la pression agissant extérieurement.

Sous les efforts de cette pression, ajoute-t-il, « le fond a pris une « position symétrique inverse. Ce phénomène s'est opéré avec une « régularité parfaite, et, grâce à une tôle de bonne qualité, aucun « accident ne s'est produit.

« Les causes de ces faits sont une épaisseur trop faible de la tôle, « 11,5 millimètres pour un diamètre de $1^{m}05$, avec pression externe, « et une flèche trop petite de la partie courbe primitive, qui n'attei- « gnait guère que 15 à 18 centimètres.

« Le défaut d'épaisseur primitive de la tôle s'est encore aggravé, par « suite du martelage, pendant le travail de l'emboutissage. »

Pour éviter ces accidents, plusieurs constructeurs établissent les fonds de ces bouilleurs ou ceux des foyers intérieurs, quand ils ne sont pas armaturés, en sens inverse, c'est-à-dire de manière à ce que le rayon de courbure tombe en dehors du cylindre.

On doit, dans tous les cas, employer pour ces pièces des tôles très ductiles et prendre beaucoup de soins pour ne pas les criquer ou les brûler à la forge ; sinon il en résulte des fentes et des cassures notamment aux collets des dômes de vapeur.

« Ce genre de défaut est assez fréquent, dit M. Cornut, et présente « un certain danger, puisque les dômes peuvent, lorsque les cassures « sont assez importantes, être brusquement détachés du corps de « chaudière.

« L'origine de ces défauts nous paraît être surtout la mauvaise « qualité du métal et, très souvent, un manque de soins dans la « fabrication.

« La collerette d'un dôme, qui doit être rabattue sur une tôle de « forme circulaire, ne peut s'obtenir sans crics, ni gerçures dans son « congé, que grâce à beaucoup de soins de la part des forgerons.

« La condition essentielle que doit remplir la collerette est de s'appli- « quer complètement sur la surface ronde du corps cylindrique ; sans « cela, au moment du montage, les ouvriers se contenteront de forcer « sur la partie courbe de la collerette et produiront ainsi une tension « anormale, qui occasionnera soit des cassures au congé, soit des « cassures entre rivets.

« On ne saurait trop conseiller aux constructeurs de prendre, pour « fabriquer les dômes, des tôles de très bonne qualité et d'une épais- « seur beaucoup plus grande que celle nécessaire pour résister à la « pression légale ; de telle façon, qu'après le travail de forge de la partie « inférieure du dôme, l'épaisseur soit encore suffisante dans le congé « et la collerette. »

C'est à une fissure de 20 centimètres de développement à la partie emboutie du dôme de vapeur que l'on attribue l'explosion d'une chaudière de locomotive survenue à la gare de Frontignan, le 25 mars 1887.

L'explosion d'une chaudière cylindrique horizontale, survenue le 21 décembre 1887 à Saint-Chamond, qui a tué deux ouvriers et en a blessé sept autres, est due à la projection du fond du générateur qui s'est détaché entièrement. « La qualité des tôles était trop inférieure « pour qu'elles aient pu, sans avarie, supporter le travail de l'embou- « tissage. »

M. Cornut (1889) a exposé, sous le n° 201, un fond de bouilleur qui a éclaté sous la pression de 3 kilogr. « Le congé de la partie emboutie « avait encore 5 millimètres d'épaisseur, dit-il, et pouvait parfaitement « résister à la pression de 3 kilogr.; mais l'emboutissage ayant été mal « fait, le congé présentait des criques sur tout le pourtour. C'est à « l'endroit où ces criques étaient les plus profondes que le fond aura « cédé. »

Une tôle ordinaire ne doit jamais être cintrée perpendiculairement au sens du laminage; car, dans ce cas, elle est toujours détériorée sinon dédoublée. On est cependant quelquefois obligé de le faire, quand il s'agit de grandes dimensions, pour éviter des rivures, en plein feu; il est alors indispensable d'employer des tôles très douces et très ductiles ou de l'acier de première marque.

C'est au mauvais mode d'emploi des tôles cintrées perpendiculairement au sens du laminage qu'il faut attribuer l'explosion d'une chaudière cylindrique à deux bouilleurs survenue le 21 octobre 1875, dans une blanchisserie de Boulogne-sur-Seine.

Ce n'est que par une construction soignée que le chaudronnier évitera les *assemblages défectueux* soit aux pinces, soit à la rivure Ces mauvais assemblages sont particulièrement à redouter; car, lors du rivetage, de petites parties du métal s'engagent entre les deux tôles et les empêchent de se joindre complètement. Sous le numéro 204, M. Cornut (1889) montre un exemple fort intéressant de ce grave défaut.

L'étanchéité de la rivure est ainsi à jamais compromise.

L'établissement des rivures est soumis à certaines règles qui sont loin d'être adoptées par tous les constructeurs.

Chaque chaudronnier suit celles que l'usage lui a fait reconnaître comme les meilleures. Celles que nous indiquons ici nous paraissent très convenables. Du reste, c'est principalement la bonne confection qui assure la solidité d'une rivure.

DIMENSION DES RIVURES EN MILLIMÈTRES				
ÉPAISSEUR des TÔLES	DIAMÈTRE des RIVETS	ÉCARTEMENT		RECOUVREMENT
		Simple RIVURE	Double RIVURE	
1	4	15	24	6
2	8	24	36	12
3	10	30	40	15
4	12	36	43	18
5	14	41	47	21
6	16	46	50	24
7	16	46	50	24
8	18	50	54	27
9	18	50	54	27
10	20	54	60	30
11	21	56	62	32
12	21	56	62	32
13	22	60	66	33
14	23	64	69	35
15	24	68	72	36
16	24	68	72	36
17	25	72	75	38
18	25	72	75	38
19	26	75	78	39
20	26	75	78	40

Les *mauvaises rivures* sont très dangereuses.

La résistance des assemblages par rivure, même faite avec tous les soins désirables, est moindre que celle de la tôle : l'Instruction ministérielle pour l'exécution du règlement belge du 28 mai 1884 indique que l'on doit prendre pour la résistance d'une rivure double, 60 °/₀, et pour une rivure simple 40 °/₀ de la résistance en pleine tôle, ces rivures devant être d'ailleurs exécutées dans les meilleures conditions.

Une négligence dans le travail de la rivure peut donc facilement mettre la chaudière en danger.

Et, il faut l'avouer, cette partie de la construction est parfois établie à la légère ; on la fait trop souvent exécuter par des tâcherons.

« Les discussions soulevées par la qualité des rivures à la méca-
« nique ou à la main avec la bouterolle (car la rivure purement à la

« main n'est plus guère employée que dans quelques cas spéciaux), ne « sont pas encore élucidées, dit M. Cornut, mais si on examine des « échantillons de ces rivures, on trouve que la différence de forme « prise par les fibres du fer est très marquée ; tandis que dans le « rivage à la bouterolle, le refoulement du métal est peu sensible, et « que les parties supérieures du métal sont seules légèrement recour- « bées, dans la rivure mécanique, au contraire, la compression est si « énergique, que les fibres sont repliées sur elles-mêmes. »

Mais la rivure mécanique est souvent défectueuse. Les tôles sont moins bien appliquées l'une contre l'autre, de sorte que le métal pénètre entre les deux tôles, empêchant l'étanchéité, comme le montre l'échantillon n° 214 présenté par M. Cornut (1889).

De plus, les têtes sont souvent aplaties par la machine et quelquefois frappées de côté. Elles ne portent pas, par conséquent, d'une façon égale sur toute la circonférence, comme l'indiquent les fort intéressants échantillons qu'il nous montre sous le n° 215.

Les rivets sont quelquefois trop faibles, soit comme diamètre, soit comme longueur ; dans ce dernier cas, leur tête est mal faite et insuffisante.

Sous le n° 203, M. Cornut décrit l'explosion d'une chaudière verticale dont « les têtes de rivets qui devaient être fraisées à l'intérieur ne « l'étaient pas ; elles avaient été simplement abattues et la rivure ne « pouvait offrir grande résistance. »

Les rivets peuvent être trop écartés, quelquefois mais rarement trop rapprochés ; ici l'excès est un grave défaut. La section des rivets ne doit être développée qu'en augmentant le nombre des rangs de rivure.

C'est aux rivets trop rapprochés les uns des autres eu égard à leur diamètre que l'Administration a attribué l'explosion d'une locomobile survenue le 26 août 1886, au château de Passy.

Il est nécessaire que le fer du rivet soit fin, de qualité supérieure. M. Cornut (1889) présente sous le n° 228 « un échantillon de rivet de « mauvaise qualité dont la tête s'est arrachée sur sa circonférence, « dans le travail du refoulement. »

Il n'est pas prudent d'employer des rivets en acier, parce que la qualité du métal varie avec la température à laquelle il est soumis ; si le rivet en acier est placé trop chaud, il se casse.

Les *trous* de la rivure sont souvent *mal percés*.

Lorsque ces trous sont poinçonnés, surtout dans les tôles d'acier, il se produit des fissures imperceptibles qui s'augmentent plus ou moins

rapidement par l'usage, et qui forment ces cassures si dangereuses allant de rivet à rivet, ou de rivet à la ligne de matage.

Sous le n° 47, M. Cornut (1889) en montre un échantillon qui embrasse une longueur de 500 millimètres et qui provient d'une mauvaise construction ; la chaudière, quoique poussée, était neuve et en service depuis moins d'un an.

Ces cassures sont souvent facilitées par une réserve et une surface de recouvrement trop faibles. C'est à cette cause que l'on attribue l'explosion d'une chaudière cylindrique horizontale, survenue le 3 juin 1865, à la houillère de Roche-la-Molière (Loire), occasionnée par la « rupture du corps de la chaudière suivant une ligne de rivets verti« cale à peu près au droit du coup de feu. »

La mauvaise qualité de la tôle a naturellement une grande influence sur ces cassures entre rivets dont M. Cornut (1889) montre sous le n° 58 un échantillon remarquable.

Souvent aussi les trous des rivets des deux tôles à assembler *ne concordent pas* (1). Cette défectuosité a lieu quand on emploie le poinçonnage, et c'est le cas général ; l'ouvrier ramène la tôle et facilite l'entrée du rivet par la broche.

Le brochage ayant pour effet de plisser la tôle s'oppose au contact intime entre les surfaces et engendre des efforts considérables qui produisent ou facilitent les fentes et les fissures. Les rivets se trouvant, au surplus, placés obliquement et plus gros d'un côté que de l'autre, comme le montrent les échantillons n° 219 et 224 présentés par M. Cornut (1889), n'exercent qu'une action insuffisante.

C'est à une mauvaise rivure provenant du percement défectueux des trous qu'il faut attribuer l'explosion d'une chaudière à deux bouilleurs survenue le 10 septembre 1888, au moulin à blé de Marquette (Nord).

« En marche normale, il y a eu arrachement du dôme suivant sa « ligne de rivure avec le corps principal ; parmi les cassures allant de

(1) M. Cornut (1889) fait figurer, sous le n° 69, un échantillon de rivure défectueuse qui s'est entièrement cassée sur une demi-circonférence de 1m500 de diamètre, embrassant par conséquent une longueur développée de 2m350.

Quelques indications sur cette rivure montrent combien les trous étaient mal percés.

L'écartement d'axe en axe des rivets est en moyenne de 55,7 millimètres, mais varie de 53 à 58.

« Les trous des rivets ont en moyenne 25 millimètres de diamètre, mais varient de 24 à 26 ; la distance du rivet au bord est de 28,4 millimètres, en moyenne, mais varie de 24,5 à 33 ; tôle de qualité inférieure. »

« rivet à rivet, 23 étaient anciennes, 10 mi-partie anciennes et mi-
« partie fraîches et 23 seulement fraîches ; le dôme a été projeté à 22
« mètres de distance.

« En montant ce dôme sur le corps principal, on a recouru au
« brochage.

« Le chauffeur a été mortellement blessé. »

Cette circonstance est, pour ainsi dire, inévitable lorsqu'on emploie des parties en fonte dont les trous sont venus de moulage.

Il est très intéressant de lire à ce sujet la note de M. Cornut sur les accidents dus à la rupture de bouchons en fonte ; cette note a paru dans le compte rendu du XIII[e] congrès des Ingénieurs en chef des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur.

Il conclut en disant qu'une des causes principales de ce genre d'accident semble être :

« Mauvaise construction, trous venus de fonte sur le bouchon, ne se
« présentant pas en regard des trous forés dans la tôle, d'où nécessité
« d'employer la *broche*, instrument en acier qui, chassé violemment
« dans les trous de la tôle et de la fonte, peut produire dans ce dernier
« métal des amorces de rupture.

« Cette méthode de construction qui est des plus dangereuses devrait
« être absolument prohibée ; il suffit pour cela de mettre dans les mar-
« chés d'achat de chaudières la formule adoptée dans les traités par
« notre association :

« Les trous de rivets des bouchons en fonte des bouilleurs, des
« réchauffeurs, du dôme et des piétements seront percés au foret et non
« venus de fonte. »

Il arrive aussi, quand les trous ne concordent pas, que l'ouvrier élargit l'un d'eux avec le bédane, ce qui affaiblit la réserve entre rivets; sinon il est obligé de mettre des rivets d'un diamètre très faible qui ne remplissent pas le trou et se cassent.

Les rivures ainsi faites sont dans tous les cas très mauvaises.

« C'est le jet de vapeur par la partie supérieure de la chaudière, par
« suite de la rupture de 5 des rivets reliant le fond d'arrière à la partie
« cylindrique » d'une chaudière à deux bouilleurs qui a produit l'accident survenu le 24 mai 1877, dans une carrière du Bois-Jourdan (Mayenne).

Les trous devraient être poinçonnés à une dimension moindre que le diamètre définitif, puis être forés à la mèche et avoir leurs bords adoucis.

Plusieurs constructeurs suppriment même le poinçonnage.

« Le poinçonnage que l'on ne devrait jamais pratiquer sur les tôles « des chaudières, disent MM. Richard et Baclé, dans leur manuel du « mécanicien, réduit de beaucoup, de 20 °/₀ quelquefois, la résistance « de ce qui reste du métal, en déterminant, tout autour du poinçon, « non seulement une altération profonde, mais même, souvent, des « commencements de rupture. Cette opération agit de même sur les « tôles d'acier, auxquelles on ne peut pas toujours alors, même par le « recuit, rendre toute leur résistance primitive. »

Souvent, enfin, le rivet est posé trop froid ; dans ce cas, s'il n'est pas de qualité supérieure, la tête saute peu de temps après, ainsi que le montre M. Cornut (1889), par les échantillons nos 225 à 227.

Le *Chanfreinage* est parfois mal fait, sans attention ; dans ce cas l'outil creuse un sillon au point de jonction du chanfrein et produit une saignée qui affaiblit considérablement la tôle. M. Cornut (1889) en expose sous les nos 65 et 67 des échantillons remarquables.

Le *Matage* fait sans soins est défectueux, il n'assure pas l'étanchéité de la rivure ; l'outil peut, comme pour le chanfreinage, attaquer et affaiblir la tôle voisine.

M. Cornut (1889) montre, sous les nos 66 et 68, des échantillons de tôles fendues et cassées par mauvais matage. « L'inspection du défaut, « dit-il, permet de voir que la rivure a été mal soignée pendant la « construction et que la tôle a été coupée dans l'opération du matage. »

Lors d'une explosion de locomotive dans les ateliers des chemins de fer d'Orléans, à Orléans, survenue le 26 mars 1879, il a été constaté que : « La cause déterminante a été un premier sillon formé par le matage « d'un joint le long d'une génératrice. »

Nous expliquons plus loin qu'il faut éviter de mater la chaudière sous forte pression, il se forme entre les deux tôles un bourrelet qui, la pression cessant, les empêche de se réunir.

Il serait à désirer que les tôles fussent parfaitement chanfreinées et matées en dehors et en dedans ; la rivure bien faite serait alors absolument étanche.

Pour que le rivetage d'une pièce de fonte fixée sur la chaudière soit bien conditionné, il faut prendre des dispositions spéciales : quand on le peut on doit finir la pièce au tour, sinon on interpose entre elle et la tôle une feuille métallique mince, qu'on refoule après le rivetage.

Pour certaines parties de chaudières, on remplace quelquefois la rivure par une soudure.

Ces *soudures* sont souvent *défectueuses*. Elles cèdent quelquefois.

Il est difficile de bien souder les tôles si l'on ne dispose pas d'un outillage spécial et coûteux.

On peut être assuré de la solidité d'une rivure bien faite, on n'est jamais certain de celle d'une soudure, surtout si le recouvrement n'a pas une largeur convenable. Il faut, dans tous les cas, limiter son emploi à des parties d'un faible diamètre, comme les tubes.

C'est à une mauvaise soudure qu'il faut attribuer l'explosion d'un récipient d'eau et de vapeur d'une locomotive sans foyer, système Francq, survenue, le 11 janvier 1890, au dépôt des tramways à Maisons-Neuves, près de Lyon.

Ce récipient, qui ne contenait aucune rivure, portait un timbre de 17 kilogr. Construit en 1888, il avait subi l'épreuve légale le 17 septembre 1888, mais n'avait été mis en service que le 26 avril 1889. Il a fait explosion 9 mois après, à une pression de 12 à 13 kilogr. bien inférieure, par conséquent à celle d'épreuve.

Les *communications* entre les bouilleurs et le corps de chaudière sont particulièrement difficiles à exécuter, par suite du travail de forge que nécessitent leur longueur, exactement déterminée, et l'obligation de s'appliquer plus ou moins obliquement sur deux corps de diamètres différents ; elles ont d'ailleurs à supporter des efforts considérables, et sont enfin difficiles à visiter, étant presque toujours prises dans la maçonnerie.

Sous le n° 88, M. Cornut (1889) montre un échantillon d'un collet de communication cassé dans le congé extérieur.

« La tôle, dit-il, n'était pas d'assez bonne qualité pour supporter un « redressement d'équerre ; aussi s'est-elle criquée au travail, et, après « quelque temps de marche, à la première visite, on découvrit une « fente circulaire sur les trois quarts de la circonférence du collet. La « fente datait certainement de l'époque de la construction, et le chau- « dronnier n'aurait pas dû livrer une communication présentant ces « défauts .» Mais l'épreuve ne les avait pas révélés !

On a souvent établi ces communications en deux parties reliées entre elles par un joint. Cette construction est défectueuse et a plusieurs fois provoqué des accidents.

M. Cornut (1878) en cite deux exemples : « Pour l'un, dit-il, le mode « d'assemblage consiste à river sur chacun des bouilleurs et sur le « corps cylindrique, deux manchettes circulaires terminées par une « cornière plane, servant à faire un joint ordinaire pour réunir les « deux parties...

« Nous avons trouvé des fuites à toutes ces communications, les unes

« peu graves, les autres, au contraire, pouvant amener les explosions
« les plus terribles. »

D'autres communications sont en fonte, à emboîtement avec joint au mastic de fonte ; un tirant à clavette portant sur des pièces de fonte est destiné à soulager le joint.

« En exécutant la maçonnerie en 1874, on découvrit une fissure dans
« la partie supérieure d'une communication; on espéra s'en rendre maître
« en faisant un joint au mastic de fonte, maintenu par un collier en fer.

« Le 28 mai 1875, à 12 heures 45, au moment où le conducteur
« allait ouvrir le robinet de chauffage, une explosion se produisit.

« Le bouilleur de droite, en regardant par l'arrière du générateur,
« venait de s'ouvrir sur toute la longueur de la dernière virole.

« C'était le bouilleur qui portait le collier de fer dont nous venons
« de parler. Le déchirement s'était produit par arrachement, sur une
« des génératrices inférieures. »

Dans une teinturerie de Falaise (Calvados), une chaudière cylindrique à un bouilleur a fait explosion le 8 janvier 1875. Le corps cylindrique s'est séparé du bouilleur et est allé tomber à 30 mètres de distance.

L'assemblage des communications était fait à emboîtement avec interposition de mastic de fonte, mais sans armature-tirant.

L'avant-veille de l'accident on avait remplacé le bouilleur, qui était en mauvais état, par un autre de rechange.

Les joints avaient été faits au mastic, comme d'habitude ; le lendemain la chaudière avait été remplie d'eau et le surlendemain les fourneaux avaient été remis en feu.

L'accident est arrivé trois heures après l'allumage, alors que la pression atteignait 3 atmosphères.

Les *ouvertures* portant des autoclaves doivent toujours être renforcées, sans quoi elles sont le principe d'une déchirure dangereuse.

L'explosion d'une chaudière demi fixe, survenue le 4 décembre 1885, à Givors, a eu pour principe l'ouverture du trou d'homme qui n'était pas armé.

Le n° 43 de notre relevé donne des détails sur l'explosion d'une chaudière horizontale à foyer intérieur, avec tube de retour, survenue le 15 juin 1878, dans le port de Bône, à la suite d'une déchirure ayant eu pour principe l'une des deux portes autoclaves.

Toute ouverture sur la chaudière diminue la solidité de la tôle ; une succession de ces ouvertures peut produire une saignée longitudinale pernicieuse.

Sous le n° 234, M. Cornut (1889) cite, à ce sujet, l'explosion d'une chaudière ordinaire à deux bouilleurs :

« La cause de l'explosion, dit-il, réside dans un manque de résis-« tance de la chaudière à sa partie supérieure, occasionné par de « nombreux trous dont elle avait été maladroitement percée.

« La tôle supérieure du corps cylindrique avait, au moment de l'ex-« plosion, 7 à 8 millimètres et elle était percée des nombreux trous « suivants :

1° Orifices des deux soupapes de sûreté ;

2° Prise de vapeur du niveau d'eau ;

3° Prise de vapeur du manomètre ;

4° Sifflet d'alarme ;

5° Trou d'homme dont la couronne était fendue, la fente se prolongeant dans la tôle ;

6° Robinet d'alimentation ;

7° Prise de vapeur ;

8° Trou pour la tige du flotteur.

Les *Tubes* se divisent en deux classes : ceux dans lequels passent les gaz chauds, et ceux dits tubes bouilleurs qui contiennent de l'eau et sont chauffés extérieurement. On fait encore usage, depuis quelques années, de tubes mixtes composés d'un tube bouilleur que traverse, dans toute sa longueur, un tube ordinaire.

Les premiers, fixés par leurs deux extrémités sur des plaques tubulaires, sont, en général, mandrinés.

Cette opération les encastre dans les plaques tubulaires, en formant joint étanche. La pression d'épreuve les déchausse souvent et les détériore ; pour pouvoir être mandrinés de nouveau, il est nécessaire que le métal soit très ductile, sans quoi il se crique.

Il est rare que le faisceau tubulaire soit bien étanche dans le principe ; mais, après quelque temps de fonctionnement, son étanchéité est assurée par les dépôts adhérents. Cependant, s'ils sont mal posés, les fuites s'accentuent et peuvent engendrer des désordres graves.

« Pour réunir les plaques des chaudières tubulaires, dit M. Cornut, « on emploie quelquefois des tubes formant tirants. Ces derniers, file-« tés à leurs extrémités, sont destinés à empêcher le cintrage des fonds « sous la pression intérieure.

« Seulement, les tubes étant eux-mêmes peu épais, on comprend « que si on taraude leurs extrémités, on diminue notablement leur

« résistance à la traction, et les cas de rupture provenant de ce fait « sont fréquents.

« Il vaut mieux employer des armatures en équerre ou des tirants « pleins, comme on le fait le plus souvent d'ailleurs. »

Nous devons cependant faire remarquer que, lorsqu'on emploie des tubes-tirants, on a l'habitude d'augmenter l'épaisseur du métal en diminuant d'autant le diamètre intérieur.

Dans ces conditions l'inconvénient signalé disparaît, et l'emploi d'un tube-tirant est pratique ; il est très usité dans la marine où l'on a besoin d'utiliser toute la place disponible sur les plaques tubulaires.

Disons toutefois que ces tubes sont rarement étanches.

Les tubes bouilleurs, terminés ordinairement par des bagues faisant corps avec eux, sont souvent mal emmanchés, ils provoquent des fuites (1) ; d'autres fois, tournés trop faibles, ou insuffisamment mandrinés, ils s'échappent du point d'attache en causant de graves accidents.

L'explosion d'une chaudière verticale à tubes Field, survenue le 9 novembre 1876, dans une charcuterie à Paris, est due à l'arrachement d'un des tubes bouilleurs.

Ce tube ne portait pas de bague conique, il était simplement mandriné sur la plaque tubulaire. Cette opération avait dû être faite sans soins. La chaudière fonctionnait depuis huit jours seulement. Le chauffeur est mort des suites de ses brûlures.

Les tubes en fer sont généralement soudés à recouvrement ; il faut veiller à cette soudure, qui est quelquefois défectueuse par elle-même ou par l'insuffisance du recouvrement.

M. Vinçotte estime que les explosions causées par les mauvaises soudures forment 50 °/₀ du nombre total des explosions de chaudières à tubes d'eau, et que, par conséquent, il y a lieu d'imposer pour la réception de ces tubes, un recouvrement de 18 à 20 millimètres, et de faire des essais sérieux lors de cette réception, car il montre que ce recouvrement est loin d'être uniforme sur toute la longueur du tube.

Nous examinerons, en parlant des systèmes de chaudières, l'influence

---

(1) M. Cornut (1889) montre, sous le nº 137, un tube Field corrodé par suite d'une fuite au joint du tube avec la plaque tubulaire.

« Dans la chaudière d'où provient ce tube, dit-il, le même défaut s'est rencontré chez « plusieurs d'entre eux. Quelques-uns présentaient même des trous comme l'échantillon « exposé. »

Et sous les numéros 133 à 138, il présente des échantillons d'organes de chaudières multitubulaires corrodés par suite de fuites aux joints.

que peuvent avoir sur les explosions l'emploi et la position des tubes.

On emploie souvent des tubes en laiton, métal qui résiste plus longtemps que le fer à l'action corrosive des produits de la combustion, et qui est moins sujet à s'entartrer.

Mais, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, sous l'action d'une certaine température, le laiton s'altère et se brise ensuite comme du verre.

Or il arrive souvent que les tubes des rangées supérieures sont surchauffés par suite du manque d'eau (nous expliquons plus loin les causes de ce manque d'eau) ; dans ces conditions le métal altéré par la chaleur se rompt et, le plus souvent, le chauffeur est brûlé, comme cela a eu lieu lors d'une explosion de cette nature qui s'est produite, le 20 avril 1879, à Dunkerque.

Quand on préfère employer les tubes en laiton, il nous semble nécessaire, pour parer à ce danger, de placer des tubes en fer tout au moins aux premières rangées supérieures.

On fait encore quelquefois les tubes en cuivre rouge ; mais, par suite du prix élevé de ce métal, on réduit leur épaisseur ; et, bien qu'ils puissent supporter avec succès l'épreuve officielle de courte durée, ils s'écrasent dans la suite sous une pression moindre, mais continue.

M. Cornut (1889) donne un autre motif de cette faible épaisseur.

« C'est une tendance fâcheuse, dit-il, qui conduit les constructeurs « à diminuer outre mesure l'épaisseur des tubes ; ils prétendent faciliter ainsi la transmission de la chaleur ; c'est une erreur ; les métaux, « le cuivre surtout, sont si bons conducteurs de la chaleur, en comparaison des gaz chauds et de l'eau, et surtout de la suie et de l'incrustation, que leur épaisseur n'influe pas sur la transmission de la « chaleur. Donc, pour le choix de l'épaisseur des tubes, on ne doit se « préoccuper absolument que de les faire suffisamment résistants. »

Et sous le numéro 161, il montre l'exemple d'un tube en cuivre rouge écrasé par la pression et provenant d'une chaudière semi tubulaire.

L'épreuve hydraulique à haute pression est le seul moyen reconnu par l'Administration pour contrôler la résistance d'une chaudière neuve. Nous critiquons plus loin cette pratique.

MANQUE DE RÉSISTANCE DES RÉPARATIONS

Lorsqu'une détérioration dangereuse survient à une chaudière à vapeur, il faut ou changer la partie attaquée ou faire une réparation.

Il n'est pas toujours préférable, même quand on le peut, de remplacer toute la tôle malade; en coupant les rivets aussi bien qu'en procédant à la nouvelle rivure, on détériore le métal.

Une réparation bien faite, quoique moins solide que la tôle saine, n'est pas dangereuse.

Si, sous l'action du feu, une bosse se déclare, il n'est pas toujours nécessaire de la faire disparaître.

« Une bosse, disent les associations de propriétaires d'appareils à vapeur, est une déformation de la tôle sur toute son épaisseur, un renflement sans dessoudure.

« Une bosse pailleuse est un renflement présentant une dessoudure. »

Quand une bosse n'est pas trop forte, on peut nettoyer promptement le générateur et continuer à s'en servir sans réparation, si le métal n'est pas crevassé.

Mais on ne doit jamais refouler une bosse, car on fatigue beaucoup le métal : il se fendille et le défaut devient dangereux.

M. Cornut (1878 et 1889) présente plusieurs échantillons de ces bosses fendues après avoir été malencontreusement refoulées soit à froid, soit à chaud.

Si le métal est crevassé, il faut mettre une pièce.

Une pièce bien mise peut durer fort longtemps.

On place généralement la pièce en dedans, pour qu'elle ne soit pas projetée, si ses attaches cèdent et pour qu'elle ne forme pas, quand elle est posée à la partie supérieure, un vide qui engendrerait un ciel de vapeur produisant des corrosions, ainsi que le montre l'échantillon présenté par M. Cornut (1889) sous le n° 176.

Cependant, la pièce étant ainsi placée, la flamme frappe le bord de la tôle, le ronge et fait naître des fissures dangereuses.

L'Administration des Mines a accompagné des observations suivantes

la relation de l'explosion d'une chaudière horizontale à bouilleurs survenue le 10 janvier 1878 à Paris :

« Une partie usée au coup de feu avait été remplacée par une pièce « de cuivre; les bords de la tôle de fer recouvrant le cuivre ont été « échauffés outre mesure et se sont déchirés.

« Un joint dans cette partie est dangereux, on aurait dû remplacer « la virole entière. »

Ainsi que nous venons de le dire, nous ne partageons pas entièrement l'avis final de l'Ingénieur des Mines.

Si la pièce est en dehors, c'est elle qui se détériore le plus : la tôle de la chaudière n'a pas, dans ce cas, une tendance à se fissurer, mais alors la pièce peut se détacher en produisant un accident terrible.

La pose d'une pièce, en dedans ou en dehors, réclame toujours l'enlèvement de la partie malade ; il ne faut conserver en recouvrement que la largeur strictement nécessaire à l'établissement de la rivure, c'est déjà trop. « La transmission de la chaleur, dit M. Hirsch, est plus ou « moins gênée par la doublure des tôles; une rivure, même bien faite, « ne doit pas être exposée à un feu violent », à moins, croyons-nous devoir ajouter, que l'on ne puisse faire autrement.

M. Cornut (1889) indique, sous le n° 232, la succession des incidents qui peuvent se présenter :

« Une petite bosse, avec crique, s'étant manifestée à la tôle de coup « de feu d'un bouilleur, on fit la réparation suivante :

« Au lieu d'enlever la partie malade et de la remplacer par une pièce, « on mit tout simplement une pièce formant emplâtre à l'intérieur. « Cette pièce a été bien mise.

« Quelque temps après, la bosse ancienne se fissura longitudinale- « ment. On perça deux trous pour arrêter la fente, mais celle-ci conti- « nuant à s'étendre et à gagner la rivure de la tôle, on mit une pièce « plus grande, mais en laissant toujours la bosse.

« Cette fois, la fissure primitive s'étendit à son tour ; on chercha à « l'arrêter par des trous, mais elle passa outre et on dut mettre une « plus grande pièce, mais on laissa toujours la bosse. Mais alors les deux « fentes s'allongèrent perpendiculairement et on essaya de les arrêter « par d'autres moyens.

« Inutile de dire que rien n'y fit et qu'après trois réparations succes- « sives on dut changer la tôle, tellement le défaut s'était agrandi, alors « que, si on avait enlevé la partie primitivement malade, le défaut fût « sans doute resté stationnaire. »

C'est au défaut de la jonction du foyer qui « se projetait au milieu

« même de la grille et correspondait par suite à la partie centrale du « brasier formé par la combustion, qu'est due l'explosion d'une chau- « dière tubulaire à foyer intérieur survenue le 11 mai 1874 dans une « fonderie d'Aubrives (Ardennes).

« Quatre ouvriers, parmi lesquels le chauffeur, ont été atteints par « la vapeur et les débris projetés par l'explosion: ils sont morts sur le « coup ou quelques heures après. »

Si la pièce est mal préparée, si les bords ne s'appliquent pas parfaitement sur la tôle, si d'ailleurs les trous des deux parties ne concordent pas exactement, si enfin la rivure est mal faite, la réparation est mauvaise et provoquera, sans nul doute, des fuites d'abord, un accident ensuite.

L'échantillon n° 233, présenté par M. Cornut (1889), « indique les « défauts que peut amener un travail mal fait. Il représente une pièce « de fer mise à un bouilleur.

« Les trous des rivets ne correspondant pas sur les tôles, les ouvriers « négligents ont broché vigoureusement les trous de la pièce et ont « amené des cassures.....

« La pièce a donc dû être remplacée immédiatement. C'est une des « nombreuses conséquences du brochage, que l'on pratique malheu- « reusement encore trop souvent dans certains ateliers et contre lequel « on ne saurait trop réagir. »

L'explosion d'une chaudière cylindrique horizontale à foyer intérieur cylindrique, survenue le 3 juillet 1873, dans une distillerie à Arches (Vosges), doit être attribuée à une mauvaise réparation.

« En 1869, dit le rapport officiel, le foyer avait été brûlé au-dessus « de l'autel et l'on y avait rapporté une pièce de 0^m28 de largeur sur un « mètre de développement et d'une épaisseur de 8 millimètres, tandis « que la tôle dans le reste du foyer avait 13 millimètres.

« La chaudière s'est déchirée au foyer.

« L'accident semble avoir pris naissance sur la pièce rapportée qui « s'est aplatie et déchirée à sa partie supérieure. »

Le défaut de contact intime entre les deux tôles d'une clouure, dans les parties du générateur exposées à un feu un peu intense, constitue, dit encore M. Hirsch, une cause grave d'accident.

C'est spécialement pour cette raison qu'un assemblage, quel qu'il soit, en contact du feu, ne doit jamais être fait avec des boulons ou des goujons.

« Une soufflure s'étant déclarée à une tôle de coup de feu, dit « M. Cornut, on enleva la partie malade et l'ouvrier chargé de la répara-

« tion, au lieu de river la pièce, se contenta de la maintenir avec des « boulons en commettant la maladresse de mettre les écrous à l'extérieur, « c'est-à-dire en plein feu.

« Les écrous furent vite brûlés et les fuites se manifestèrent; au « moment de l'inspection, on faisait tomber au marteau la plus grande « partie des écrous.

« La pièce ne tenait plus que par la pression de la vapeur qui la « maintenait; si cette pièce avait été mise à l'extérieur, ce qui est « préférable et tend à éviter les cassures au bord des tôles, une « explosion se serait certainement produite. »

Même lorsqu'elle n'est pas au contact du feu, une pièce assemblée avec des boulons est rarement étanche, l'échantillon nº 171 en est un exemple.

Lors de l'explosion qui s'est produite le 18 octobre 1872, aux forges de l'Onzion (Loire), d'une chaudière horizontale cylindrique tubulaire à foyer intérieur chauffée par les flammes perdues d'un four à réchauffer, il a été reconnu que l'accident provenait d'une pièce goujonnée et mise en plein feu.

« La chaudière, dit le rapport officiel, portait une pièce de 0,44 sur « 0,28, appliquée extérieurement sur le foyer intérieur et fixée par une « ligne de goujons taraudés. Une déchirure s'est faite dans la tôle de la « chaudière suivant la ligne des goujons taraudés de la pièce rajoutée. « La déchirure s'est ensuite propagée en pleine tôle.

« Le chauffeur et trois ouvriers ont été plus ou moins grièvement « brûlés. »

Dans tous les cas, une pièce nécessite une surveillance incessante.

Pour faciliter l'application de la pièce, on la fait quelquefois en cuivre; mais la dilatation de ce métal étant plus forte que celle du fer, les rivets sont cisaillés et cèdent rapidement.

Une explosion survenue à Paris, le 25 avril 1874, qui a causé la mort de deux chauffeurs brûlés par l'eau bouillante, a été produite par la projection d'une pièce en cuivre mise peu de temps auparavant.

Lorsque l'altération du métal n'a qu'une faible longueur, il suffit de détacher la partie défectueuse et de remplir le trou par un lardon.

Si la défectuosité consiste en une fente ou fissure de peu d'étendue, on peut placer dans la fente des goujons jointifs pénétrant même les uns dans les autres.

Ces réparations sont toujours délicates; non seulement elles exigent beaucoup de soins, mais encore un examen approfondi de la tôle; si les fentes, ainsi bouchées, se prolongent au delà de la partie retouchée,

elles se continueront toujours ; la réparation est mauvaise et amènera un accident.

Comme exemple remarquable d'accident provenant d'une semblable avarie, nous pouvons citer l'explosion survenue le 1er avril 1880, dans une cartonnerie mécanique à Paris, intéressant une chaudière semi tubulaire.

« La feuille inférieure de la première virole présentait une ancienne « fissure qu'on avait bouchée en 1879 en appliquant une feuille de « plomb recouverte d'une feuille de tôle mince, le tout réuni à la paroi de « la chaudière par quatre boulons filetés traversant la paroi en des « points situés sur la fente même et recevant des écrous à l'intérieur. »

Cette explosion, qui a tué un ouvrier et en a blessé quatre autres, a été formidable. Les débris se sont dispersés sur une surface de 1,200 mètres carrés.

La plaque tubulaire d'avant, portant la plus grande partie des tubes, projetée à près de 80 mètres, est venue tomber près d'un ouvrier tonnelier qui a été renversé par l'ébranlement de l'air.

C'est aussi à de nombreuses criques et fissures que l'on avait *goujonnées* qu'il faut attribuer l'explosion survenue, le 1er décembre 1887, à un foyer de locomotive-tender aux mines de Bruay.

Le ciel du foyer s'est déchiré sur trois côtés et rabattu autour du quatrième.

Le mécanicien a été lancé à 95 mètres, le chauffeur à 26, et la machine projetée elle-même à 23 mètres.

S'il s'agit d'une paille, il faut enlever toute la partie soulevée et chanfreiner les bords de la paille. Si ce travail n'est pas soigné, l'avarie se prolonge et compromet la solidité de la tôle.

Quand une rivure donne lieu à des fuites, on mate le chanfrein.

Si cette opération n'est pas faite soigneusement, l'outil entame la tôle recouverte, ainsi que nous l'avons déjà indiqué en parlant des rivures.

Si la fuite vient des rivets, ce matage n'est pas suffisant, il faut refouler les têtes des rivets au matoir et, lorsque ce travail est mal fait, il provoque des cassures entre rivets.

L'exemple donné par l'échantillon 234, présenté par M. Cornut (1889), montre bien l'inconvénient d'une mauvaise réparation de cette nature. « La rivure, dit-il, se rompit dans la partie matée sur une longueur de « 1m20 et laissa échapper de l'eau bouillante qui brûla deux ouvriers.

« Le morceau de rivure arraché vint reposer sur le bouilleur voisin, « très peu écarté du premier, et la rivure ne s'ouvrit pas davantage. »

Les tubes à eau, placés généralement au-dessus de la grille et en vue du feu, se détériorent souvent; leur changement est alors nécessaire.

La difficulté de ce changement consiste à rendre leurs attaches étanches.

Pour certains générateurs, il ne faut pas hésiter à démonter une partie de l'appareil.

La détérioration et la rupture des tubes de fumée sont aussi fréquentes, la réparation est généralement plus facile. Mais ces tubes se brûlant le plus souvent près de la bague où la chaleur est la plus forte, on se contente quelquefois d'un raboutage qui consiste à souder un bout de tube à leur extrémité.

Si cette soudure n'est pas faite avec beaucoup d'attention, elle cède rapidement.

Quand la porte du foyer est solidement fermée, le chauffeur n'est pas gravement atteint, mais dans le cas contraire il est presque infailliblement brûlé.

Pour ne pas arrêter le fonctionnement de la machine, on bouche souvent le trou du tube crevé par un tampon; mais il arrive parfois que ce tampon est projeté, rendant l'accident plus grave encore.

C'est à la projection d'un tampon placé la veille pour boucher provisoirement les ouvertures d'un tube crevé qu'est dû l'accident survenu, le 26 novembre 1873, à une chaudière locomobile tubulaire, dans une fabrique de chaussures, à Paris.

Le chauffeur, grièvement brûlé, est mort le lendemain.

L'épreuve hydraulique à haute pression est le seul moyen accepté par l'Administration pour contrôler les réparations.

En même temps qu'elle fatigue inutilement la chaudière, cette épreuve a une influence pernicieuse sur les parties réparées; elle déchausse les tubes, ouvre les rivures et provoque l'extension des fissures. Elle prépare ainsi et facilite l'explosion.

MANQUE DE RÉSISTANCE DES ACCESSOIRES

Certaines parties des appareils à vapeur sont fixées, non par des rivets, mais au moyen de boulons.

Pour que le joint formé par ces parties soit étanche, on y interpose des mastics.

Si le joint doit être souvent démonté, on emploie le chanvre ou le caoutchouc.

Tous ces joints réclament une confection soignée, et ce n'est pas un des moindres mérites du chauffeur que d'en assurer l'étanchéité, car toute fuite amenant de l'eau sur les parois externes du générateur est une cause de corrosion et conséquemment d'explosion (1).

L'eau chaude, ou même la vapeur, jaillissant du joint, peuvent du reste brûler l'ouvrier ainsi que le montre l'accident survenu le 31 octobre 1880 à un générateur cylindrique à deux bouilleurs, dans la papeterie de Courcelles (Loir-et-Cher).

« Le joint, dit le rapport officiel, était fait d'un anneau de caoutchouc « de 30 millimètres de largeur;... un des côtés du caoutchouc... a été « chassé par la pression de la vapeur; l'eau de la chaudière s'est frayé « un large passage : le chauffeur et son aide ont été mortellement « brûlés. »

Un autre accident, survenu le 22 août 1881, à une chaudière à deux bouilleurs, à Raismes (Nord), a eu lieu dans des conditions analogues.

« La tresse de chanvre formant le joint du trou d'homme du bouil- « leur de gauche a sauté sur une longueur de quelques centimètres, « laissant, entre la plaque du trou d'homme et le bouilleur, une rainure « étroite par laquelle a jailli l'eau bouillante qui a brûlé mortellement « un ouvrier. »

Il importe, quand on le peut, de faire le joint autoclave.

---

(1) Nous donnons plus loin l'exemple d'une terrible explosion survenue à Paris le 27 décembre 1879, produite par une simple fuite au joint du tuyau d'alimentation.

Les filets des boulons n'ayant qu'une faible épaisseur se détériorent lorsqu'on les serre avec une grande violence; leur rupture, dans le cas d'un joint non autoclave, provoque la projection de la partie mobile qui cause de terribles accidents.

Quelquefois c'est le boulon lui-même qui casse.

C'est à cette cause qu'est dû l'accident survenu le 20 septembre 1882 à Grigny (Rhône).

Le tampon était fixé par un seul boulon à étrier. Des fuites s'étant manifestées autour du boulon, le chauffeur l'avait garni de filasse et serrait le boulon avec une clef très longue. Le boulon se brisa et le tampon fut projeté. Un ouvrier fut tué.

Cette détérioration des boulons est souvent le fait de l'épreuve officielle:

Un joint soumis à l'action d'une pression hydraulique considérable est bien rarement étanche; à l'effet d'atteindre une étanchéité suffisante pour faire accepter l'épreuve par le service des Mines, on serre les boulons jusqu'à refus, mais on détériore gravement leurs filets ou leur tige et souvent ils cèdent peu après.

Lorsque la fermeture du joint est maintenue par de nombreux boulons, le bris d'un seul peut déterminer celui de tous les autres.

Assistant à l'épreuve décennale d'une chaudière dont le corps vertical était terminé par un fond boulonné, nous suivions la pression d'épreuve sur le manomètre placé près de ce joint qui n'était pas étanche; un ouvrier serrait les boulons de toutes ses forces; un de ces boulons céda sous l'action de la pression d'épreuve, immédiatement tous les autres se brisèrent et, arrêtés par un plafond bas, retombèrent sur nous en pluie métallique.

Cette circonstance a produit plusieurs explosions; nous pouvons citer, notamment, celle survenue le 27 février 1878, à Paris, d'un récipient dont le couvercle était maintenu par 48 boulons.

L'un d'eux ayant été serré beaucoup plus fortement que les autres n'a pu résister; 44 boulons se sont rompus et le couvercle a tourné autour des 4 autres.

Des explosions ont lieu quelquefois par excès contraire; ainsi, dans une fabrique de colle, à Stains (Seine), un accident, survenu le 20 septembre 1881 à un récipient vertical, a tué un ouvrier.

Le tampon de vidange, fermé par plusieurs boulons, était maintenu en outre par une barre de sûreté munie de deux écrous:

« Les deux écrous de la barre ayant seuls été mis pour une opération « à blanc, dit le rapport officiel, l'un d'eux étant très peu en prise a

« cédé : le tampon a été projeté et la vapeur a brûlé mortellement l'ou-
« vrier. »

Pour hâter le démontage et la confection des joints de certains récipients à vapeur, généralement d'un fort diamètre, on emploie quelquefois des boulons à charnière, rabattus dans des ouvertures pratiquées sur le bord du couvercle.

Sous l'action de la pression, le couvercle se bombe, les boulons glissent et ce couvercle est projeté.

Cette action, facilitée par l'élasticité du joint, rend ces accidents aussi fréquents que terribles.

Dans une note sur les dangers de l'emploi des boulons à charnière, (note qui a paru dans les *Annales des Mines*, 8me série, tome XIX), MM. Polonceau et Olry, membres de la Commission centrale des machines à vapeur, rappellent quelques accidents dus à cette fermeture et survenus dans ces dernières années, savoir :

4 octobre 1888. — Teinturerie de M. Ferlat, à Roanne (Loire). M. Ferlat mort, un ouvrier blessé ;

19 mai 1889. — Manufacture de caoutchouc de MM. les fils de J. Brunesseaux, à Saint-Denis. Un ouvrier tué ;

1er juin 1889. — Tissage à Saint-Dié (Vosges). Dégâts matériels ;

21 décembre 1889. — Teinturerie à Hem (Nord). 3 ouvriers blessés ;

24 décembre 1889. — Distillerie à Issoire (Puy-de-Dôme). Un ouvrier atteint, dégâts importants ;

15 février 1890. — Fabrique de caoutchouc à Marseille. Un ouvrier tué, 5 personnes blessées ;

24 septembre 1890. — Fabrique d'indiennes à Amfreville-la-Mivoie (Seine-Inférieure). Un contremaître tué, 2 ouvriers blessés.

MM. Polonceau et Olry ont fait à ce sujet des expériences concluantes, et ils déclarent que le meilleur remède est de supprimer ce mode dangereux de fermeture.

Nous pensons qu'il serait facile de trouver un moyen pratique d'éviter ces accidents tout en conservant cette fermeture qui offre, il faut l'avouer, de grands avantages.

Les boulons maintiennent souvent les tampons formant joints par l'intermédiaire de pièces secondaires, notamment par des étriers en fonte ou en fer qui se cassent sous l'action d'un serrage énergique.

Sous le n° 210, M. Cornut (1889) décrit ainsi la rupture d'un assemblage dans une chaudière multitubulaire :

« Cette chaudière se compose de petits tubes bouilleurs, réunis en

« éléments par des caissons en fonte communiquant entre eux par le
« haut et assemblés par de forts boulons. Sur les caissons, et au droit
« de l'ouverture de chaque tube, sont des orifices fermés par des tampons
« serrés deux à deux par un étrier en fer assujetti au moyen d'un bou-
« lon taraudé dans le caisson.

« Un matin, le chauffeur s'aperçut que deux tampons du collecteur
« inférieur fuyaient. Il serra l'écrou de commande de l'étrier fermant
« ces tampons, lorsque celui-ci se brisa par le milieu; les tampons
« furent projetés, et l'eau, se précipitant par les ouvertures, brûla le
« chauffeur qui mourut quelques heures plus tard. »

Et, sous le n° 211, il cite « l'exemple de rupture d'étriers servant à
« serrer les joints des tampons dans une chaudière multitubulaire.

« Ces étriers sont en fer et servent à appuyer sur leur siège les tam-
« pons non autoclaves des caisses reliant les tubes entre eux.

« Les cas de rupture de ces étriers sont très fréquents, aussi doit-
« on conseiller leur remplacement par des bouchons autoclaves. »

Il suffit même que l'étrier glisse et dégage le tampon pour qu'il y ait projection. Nous donnerons, dans la suite, un exemple de pareil accident.

C'est encore par l'épreuve hydraulique à haute pression que l'Administration contrôle le manque de résistance des accessoires; mais ce contrôle est inefficace, pernicieux même, en ce qui concerne la solidité, et nul au sujet des fuites.

DIMINUTION DE LA RÉSISTANCE PAR L'USAGE

Toute chaudière en fonctionnement s'use, et sa solidité s'amoindrit.

Si cette usure atteignait uniformément toutes les parties de l'appareil, elle serait normale, et on se rendrait facilement compte de la diminution de la résistance.

Nous pouvons donner comme exemple d'un accident provenant d'une usure sensiblement normale l'explosion d'une chaudière cylindrique à un bouilleur, survenue le 14 juin 1878 à Auray (Morbihan).

« La tôle, dit le rapport officiel, après trente ans de service, avait « été réduite à une épaisseur de un millimètre. Elle s'est rompue sous la « pression ordinaire de marche. »

Il est bien certain que le propriétaire de cette chaudière aurait pu et aurait dû se rendre compte de la diminution progressive de résistance du générateur.

Mais il n'en est, pour ainsi dire, jamais ainsi; de véritables maladies atteignent le générateur dans tous ses éléments, et il faut un homme du métier, bien exercé, pour donner une appréciation suffisamment exacte sur la résistance d'une chaudière ainsi altérée.

Ce sont les *fentes*, les *cassures*, les *corrosions internes* et *externes* qui compromettent le plus gravement la solidité d'une chaudière à vapeur.

Les fentes, une fois déclarées, se propagent toujours, si on ne prend pas soin de les arrêter, et, avec certaines tôles, l'action est si rapide qu'une explosion est constamment à craindre.

La gravité de ces avaries a été constatée et appréciée de tout temps.

« Une fissure, une ouverture, une faiblesse dans une certaine partie « de la chaudière, dit M. du Mesnil, dans son ouvrage sur les explosions « (1841), est loin d'être une garantie de sûreté. Il suffit d'une ouver- « ture commencée pour que la déchirure s'achève, en un moment, sur « toute la périphérie de la chaudière. »

Voici, d'après M. Cornut (1889), comment est survenue l'explosion d'un générateur semi tubulaire qui avait été *forcé* à plusieurs reprises.

« Une cassure entre plusieurs rivets de la dernière rivure cir-

« culaire avait été aperçue et une réparation immédiate avait été demandée. Le chaudronnier avait même pris la mesure pour y mettre une « pièce ; par suite de différentes circonstances malheureuses, la réparation fut ajournée. Un matin, une explosion terrible se produisit ; « l'un des bouilleurs s'était déchiré ; la chaudière avait été lancée en « l'air en tuant un ouvrier et en blessant mortellement un autre.

« L'avant-dernière virole du bouilleur s'était ouverte suivant la « rivure circulaire à laquelle on avait antérieurement signalé des cassures et avait ainsi provoqué l'explosion de la chaudière.

« La tôle n'était d'ailleurs pas de bonne qualité. »

Vers la rivure ces fentes dégénèrent en cassures partielles, allant de rivet à la mature ou de rivet à rivet.

Il n'est pas rare de voir plusieurs de ces cassures se suivre et atteindre, au total, une longueur importante.

« Les fentes entre rivets, dit M. Aguillon, Ingénieur des Mines, et « les fentes aux lignes de matage constituent, on le sait, un des défauts « les plus dangereux, parce que ces fentes peuvent s'augmenter avec « une rapidité qui peut provoquer une explosion, même avec une surveillance assez attentive et des visites intérieures rapprochées.

« Les autres fentes paraissent se développer moins rapidement : « toutefois les fentes à la courbure sont très dangereuses à cause de la « difficulté de les découvrir et d'apprécier leur importance. »

L'explosion d'une chaudière horizontale cylindrique à trois bouilleurs, survenue le 15 décembre 1884, dans une filature de Roubaix et qui a fait quatre victimes et causé des dégâts matériels assez importants, est attribuée à des cassures anciennes existant le long de la rivure du bouilleur, qui s'est ouvert.

M. Cornut (1889) présente de très curieux exemples de ces cassures, l'échantillon portant le n° 69 a une longueur de cassure développée de plus de deux mètres ; ceux qu'il expose sous le n° 63, « mis bout à bout « reconstituent, dit-il, la rivure longitudinale de droite du bouilleur « de droite d'une chaudière cylindrique à deux bouilleurs, présentant « une cassure longitudinale dans la ligne des rivets, le long de la dernière virole. Cette cassure existe à la tôle intérieure, c'est-à-dire à « la bordure de la demi-virole supérieure. Elle était masquée du côté « du feu par le recouvrement de la demi-virole inférieure, du côté de « l'eau, par des dépôts et incrustations. Une fuite obligea à découper « les tôles au-dessus et au-dessous de la rivure, après quoi on s'aperçut que la cassure se prolongeait vers l'avant, ce qui amena l'enlèvement du morceau intermédiaire, puis enfin l'enlèvement de la portion

« embrassant l'avant-dernière rivure circulaire de la demi-virole « supérieure ».

Ces fentes sont souvent difficiles à reconnaître, non seulement, comme nous venons de l'indiquer, parce qu'elles sont cachées par les incrustations, mais encore parce qu'elles sont si fines qu'elles échappent à la vue. Et cependant il est de la plus grande importance de se rendre compte du point exact où elles se terminent, pour qu'on puisse, par un percement convenable de la tôle, arrêter leur extension.

On rend la fente plus apparente en enduisant d'huile la partie fissurée. On peut aussi se servir d'un acide.

« Quand on verse de l'acide chlorydrique sur une tôle de fer criquée « ou fissurée, dit M. Périssé, l'acide liquide pénètre dans la crique et « produit à la surface un bouillonnement caractéristique qui se mani- « feste presque instantanément. Ce bouillonnement est dû au dégage- « ment des gaz air et hydrogène : l'air étant celui qui remplissait le « vide, et l'hydrogène provenant de l'attaque du métal par l'acide « dissous dans l'eau. »

Les fentes proviennent de plusieurs causes dont les principales sont : les dilatations inégales, les flexions alternatives, les vices de construction et d'installation.

Lorsque les génératrices d'un cylindre métallique, exposé à l'action de la chaleur, ne sont pas toutes portées à la même température, ce cylindre est soumis à des *dilatations inégales*, les efforts qui en résultent sont proportionnels à la différence de température, et, lorsque cette différence dépasse certaines limites dépendant de la qualité de la tôle, il se produit des fentes qui affectent quelquefois les deux tôles superposées d'une rivure comme le montre l'échantillon nº 56, présenté par M. Cornut (1889).

Les générateurs, placés à la suite des fours métallurgiques, sont plus spécialement exposés à ce danger qui atteint aussi les chaudières ordinaires quand elles sont forcées, quand la grille est trop élevée, les feux mal conduits, l'autel mal établi, etc.

Les explosions des chaudières verticales chauffées par les flammes perdues aux forges de Marnaval et d'Eurville, survenues les 31 mars 1883 et 10 novembre 1884, dans des conditions identiques, et sur lesquelles nous avons donné des détails aux nºs 27 et 28 de notre relevé, proviennent de fentes et fissures produites par les dilatations inégales dues à l'influence locale d'un feu très violent et du faible dégagement de la vapeur engendrée, qui longe les parois soumises à l'action des flammes.

On dit qu'une chaudière est *forcée* quand la quantité de combustible dépensée sur la grille est anormale.

Cette quantité est évidemment variable avec le système de chaudière et sa surface de chauffe; on ne peut donc donner aucun chiffre précis à cet égard.

Nous devons à M. Cornut une très belle étude sur les chaudières forcées, qu'on peut lire dans son Catalogue raisonné (1878) et qu'il a complétée par une note lue dans le VI[e] Congrès des Ingénieurs en chef des associations de propriétaires d'appareils à vapeur.

Voici le résumé de ses observations sur la marche de quatre générateurs à deux bouilleurs, suivant la quantité de houille consommée :

ANNÉES	EN MARCHE	CONSOMMATION DE HOUILLE BRUTE par heure et mètre carré de surface de chauffe totale	OBSERVATIONS
1868-1869	Générateurs 1, 2, 3.	2 kil. 730	Manque de vapeur, mais pas de désordres dans les tôles.
1870-1871	Générateurs 1. 2, 3, 4	2 »	Marche parfaite à tous les points de vue.
1871-1872	Générateurs 1, 2, 3, 4.	3 110	Commencement des réparations dans les générateurs.
1874	Générateurs 2, 3. 4,	4 550	Désordres graves et continuels dans les générateurs.
1875-1876	2 ou 3 générateurs seulement.	5 à 6 kilogr.	Marche impossible ; toujours un ou deux générateurs en réparations pour les mêmes causes ; dilatations et cassures dans les clouures.

D'après ces observations, la marche normale correspondrait pour ce type de chaudière à une consommation de 2 à 3 kil. de houille par mètre carré de surface et par heure, au delà la chaudière serait forcée.

Commentant la discussion qui a eu lieu, à ce sujet, entre les Ingénieurs en chef des associations, lors de leur VI[e] Congrès tenu à Paris, en 1881, M. Aguillon, Ingénieur des Mines, fait les réflexions suivantes :

« On a reconnu qu'il était difficile de chiffrer la quantité maximum « de combustible à brûler par mètre carré, parce qu'elle dépend d'un « très grand nombre d'éléments complexes et divers : de la grandeur « et de la disposition de la chaudière d'une part, de la nature du

« charbon employé et de l'eau d'alimentation, d'autre part. La nature « plus ou moins incrustante de l'eau et sa plus ou moins grande facilité « à produire des savons oléo-calcaires, jouent également un rôle « important. Les données suivantes ne peuvent donc être considérées « que comme de simples indications.

« L'association de Lille adopte, pour ses installations, une consom- « mation de 2 kilog. par mètre carré de surface de chauffe des généra- « teurs seulement, c'est-à-dire non compris les réchauffeurs.

« Dans l'association lyonnaise on considère 3 kilog. comme la limite « supérieure qu'on ne doit pas dépasser dans les chaudières à un foyer « intérieur de 25 mètres de surface de chauffe : ce chiffre serait trop fort « pour des chaudières d'une plus grande surface. Les installations de l'asso- « ciation sont basées sur une consommation de 1 kilog. 1/2 par mètre de « surface de chauffe pour des chaudières à deux foyers intérieurs et deux « réchauffeurs, présentant 100 mètres de surface de chauffe totale.

« A Rouen, on prend pour base le chiffre de 2 kilog. par mètre carré « de surface de chauffe, réchauffeurs non compris.

« A Mulhouse, on admet comme limite supérieure 2 kilog. à 2 kilog. 500, « suivant la proportion de charbon menu. »

M. Cornut (1889) présente plusieurs échantillons de fentes provenant de chaudières forcées : les n°s 50, 62 et 74 sont des spécimens de cassures entre rivets et en pleine tôle.

C'est également à cette cause qu'il faut attribuer les deux explosions qui se sont produites à Paris, à quelques mois d'intervalle, dans des conditions presque identiques.

La première, survenue le 23 août 1886, dans la raffinerie Say, à une chaudière cylindrique avec 4 bouilleurs juxtaposés, a causé la mort de 5 ouvriers, mais des dégâts matériels insignifiants ; la seconde, survenue le 25 octobre de la même année, dans la raffinerie Lebaudy, à une chaudière cylindrique à deux bouilleurs et deux réchauffeurs latéraux, a brûlé mortellement un ouvrier et produit des dégâts également insignifiants.

Nous savons que, dans ces deux usines, les grilles étaient de grandes dimensions et les feux très hauts et très poussés.

M. Périssé, ingénieur, désigné comme expert judiciaire à l'occasion de ces accidents, pense que, dans ces conditions, le métal doit s'altérer, qu'il s'aigrit et tend à prendre un état rouverin signalé déjà par M. Cornut, dans le VIIme Congrès (1882).

Cette altération du métal, parfaitement reconnue actuellement, provient sans doute d'un concours de circonstances multiples dont les

plus importantes sont les dilatations inégales, les dilatations et contractions successives, engendrant des fentes, fissures ou cassures, très légères assurément, mais fort nombreuses, qui changent la contexture du métal en même temps que les produits de la combustion, le soufre notamment, en altèrent la nature.

Cependant, les études faites n'ont pas été poussées assez loin pour donner une certitude à cet égard.

Un accident identique, précédemment arrivé à la même raffinerie Lebaudy, le 25 avril 1874, avait atteint deux chauffeurs, morts des suites de leurs brûlures.

L'Ingénieur des Mines avait constaté, à cette époque, que la chaudière était pleine d'eau, et il a attribué l'accident à des dépôts de matières grasses.

Une faible distance de la grille à la chaudière augmente la surchauffe et produit des effets identiques aux précédents; M. Cornut (1889) présente, sous le n° 20, une pièce de cuivre brûlée par ce fait. Cette pièce porte une bosse avec une fente causées par la surchauffe.

Une trop grande hauteur du feu sur la grille facilite les dilatations inégales. Elle facilite aussi les jets de flammme surchauffant la tôle comme par un dard de chalumeau.

Ces avaries paraissent plus fréquentes lorsque les chaudières sont chauffées par un courant d'air forcé.

Voici les réflexions dont M. Cornut (1889) accompagne l'échantillon n° 76, provenant d'une chaudière soufflée :

« Ce générateur est très ancien et n'avait jamais donné d'ennui; « il y a quelques années, on installa le chauffage à air forcé par venti- « lateur projetant l'air sous la grille.

« Au bout de deux ans de fonctionnement de ce chauffage, on « reconnut, à l'intérieur de la tôle, des sortes de fissures qui paraissaient « d'abord des amorces de paille, mais qu'un examen plus approfondi « a fait constater être des cassures en pleine tôle, cassures dirigées « suivant des sections droites. »

Le n° 77 présente les mêmes fissures; c'est à la suite de l'installation d'un tirage forcé, comme le précédent, que des cassures identiques se manifestèrent en assez grand nombre.

Enfin, sous le n° 48, il montre un exemple de cassures circulaires provenant de dilatations inégales, occasionnées par un vice de montage, consistant dans la mauvaise disposition des maçonneries de l'autel : la flamme allait frapper directement le corps cylindrique et atteindre la rivure circulaire, qui a été avariée.

Pour les foyers intérieurs, ces dilatations inégales agissent sur les collets et y déterminent des fentes et des cassures, ainsi que le montrent les échantillons nos 89 à 92 exposés par M. Cornut (1889).

Toutes les dispositions tendant à former des chambres de vapeur dans les parties des chaudières léchées par les flammes sont une cause de surchauffe des tôles et par conséquent de fentes.

On peut citer notamment : la superposition mal établie des tôles; la position ou l'inclinaison de certains bouilleurs; et surtout l'exiguïté des parties servant au dégagement de la vapeur. Enfin, le manque d'eau et les incrustations de toute nature, dont nous parlerons plus loin, favorisent singulièrement ces avaries.

Les *dilatations et contractions* successives produisent un effet analogue; leur action est d'autant plus intense que l'échauffement et le refroidissement sont plus brusques.

Les gueulards des foyers se détériorent souvent pour cette raison avec une très grande rapidité, surtout quand on emploie des cadres d'une largeur importante. Il est évident que cette construction est ici défectueuse, car les bords de la tôle, ne pouvant être dans ce cas suffisamment rafraîchis, se fendent sous l'action des dilatations.

Il est donc préférable d'employer, ici, des raccordements en tôle emboutie, et de les établir, autant que possible, de manière à ce qu'ils recouvrent et protègent par conséquent les bords des tôles.

Pour les chaudières déjà altérées, si les avaries ne sont pas dangereuses, on en atténue quelquefois les suites en protégeant le pourtour du gueulard, à l'intérieur du foyer, par une couronne en fonte que l'on remplace au fur et à mesure de sa destruction

Une réparation sérieuse est toujours préférable.

Certaines pratiques, comme la vidange d'un générateur avant que le fourneau se soit suffisamment refroidi, la projection d'eau froide sur les parois encore chaudes, ainsi que le chauffage à vide des chaudières facilitent ces contractions et ont une influence, souvent fâcheuse et quelquefois désastreuses, sur la production des fentes et cassures.

Ces pratiques, employées précisément dans le but d'utiliser les effets produits par la succession de ces dilatations et contractions, pour détacher, en les fendillant, les matières incrustantes, font naturellement subir aux tôles des actions identiques, quoique moins apparentes.

Dans une note insérée dans le compte rendu du XIIIe Congrès des Ingénieurs en chef des Associations, M. Schmidt attribue à une vidange trop prompte la rupture d'une tôle de coup de feu pendant l'arrêt.

Nous extrayons de cette note les passages suivants :

« Dans les cas d'une vidange de chaudière, faite quand les parois « du foyer sont encore à une température rouge, comme cela a lieu « dans les grands foyers des chaudières de sucreries, il ne me parait « pas douteux que la réverbération des parois latérales du foyer, de « l'autel et de la maçonnerie de la façade, sur les tôles inférieures des « bouilleurs *vides*, peut porter les génératrices inférieures à une tem- « pérature plus élevée de 150° que celle à laquelle se trouvent mainte- « nues les génératrices supérieures...

« Si mon hypothèse est exacte, le remède consisterait dans une « simple précaution à prendre pour effectuer la vidange. Il suffirait de « jeter bas le feu et de laisser refroidir les parois du foyer durant « quelques heures, avant de vider les chaudières. Peut-être en résul- « terait-il, pour certains établissements, la nécessité d'avoir un géné- « rateur de relai ; ce serait, en tous cas, une organisation plus commode « et donnant une plus grande sécurité. »

L'explosion d'une chaudière cylindrique à un bouilleur, survenue le 12 juin 1866, aux forges de Torteron (Cher) et chauffée par les gaz des hauts fourneaux, a eu lieu « huit jours après la mise en service de « l'appareil. Les chaudières, dit le rapport officiel, avaient été chauffées « pendant plusieurs semaines en vue de sécher les maçonneries. Il est « à craindre que pendant cette opération préliminaire elles n'aient pas « été toujours suffisamment tenues pleines d'eau et qu'il se soit produit « un coup de feu par suite d'une alimentation insuffisante dont on ne « s'est pas aperçu en raison de l'absence du tube indicateur en « verre. »

Cependant M. Bataille recommande ce chauffage à vide pour détacher les incrustations; nous rapportons plus loin cette opinion.

Les *flexions alternatives* sont des causes très sérieuses de fentes ou fissures.

Nul n'ignore qu'en faisant subir à un morceau de fil de fer des flexions alternatives, on le rompt facilement.

Le même effet est produit sur les tôles des chaudières à vapeur.

Pour ces appareils, les flexions alternatives sont dues, dans beaucoup de cas, aux pressions successives qui agissent sur les parois planes ou sur les parties bombées, non armaturées, ou qui ne le sont pas suffisamment, comme les dômes de vapeur, les fonds emboutis, etc.

L'explosion survenue, le 3 octobre 1884, à une chaudière cylindrique horizontale avec foyer intérieur munie d'un dôme à fond plat, a été causée par des fentes qui se sont produites à la partie emboutie de ce fond, sans doute sous l'action des flexions alternatives.

« Une fuite légère se montrait depuis quelque temps à la circonférence « du dôme dès qu'on atteignait 5 kilog. de pression.

« Le couvercle du dôme, après s'être un peu infléchi, fut lancé à « 50 mètres de distance. »

Cet effet s'est produit juste au moment où une femme faisait jouer le sifflet de vapeur.

Le n° 20 de notre relevé donne des détails sur l'explosion d'une chaudière cylindrique tubulaire, à faces avant et arrière planes, et à retour de flammes; ces faces se sont déchirées le long des lignes de rivets qui les reliaient à l'enveloppe cylindrique.

L'explosion d'un cylindre en tôle de 1m78 de diamètre et 3m55 de longueur, survenue le 18 novembre 1878, aux Vaux-de-Vire, a fait quatre victimes.

« La rupture a eu lieu, dit le rapport officiel, sous une pression qui « n'était peut-être pas supérieure à 4 kilogr., pression qui, dans les « conditions ordinaires, n'était pas excessive, mais qui pouvait dépasser « la résistance d'un métal affaibli par des flexions en sens contraire « incessamment renouvelées. »

C'est aux flexions alternatives qu'il faut attribuer l'explosion survenue le 5 janvier 1885 à un récipient cylindrique de 1m75 de diamètre dans un équarrissage à Aubervilliers.

L'appareil cylindrique était terminé par deux fonds, l'un, supérieur, bombé, le second, inférieur, plat, sans armatures.

« Le fond plat s'est rompu sur toute sa circonférence, à la naissance « du coude embouti. La partie supérieure de l'appareil a été lancée à « 30 mètres. »

Un ouvrier a été blessé, la toiture crevée.

C'est la même cause qu'il faut donner à l'explosion d'une chaudière cylindrique avec fonds plats, survenue le 31 janvier 1887, dans une filature à Saint-Brès (Gard).

« Les fonds plats de qualité médiocre, d'une épaisseur insuffisante, « eu égard à leur diamètre et à la pression du timbre, simplement « rivés sur des fers à cornière laminés et dépourvus de toute entretoise, « de toute armature, ont cédé. »

Le fond plat d'arrière s'est rompu en pleine tôle.

Quatre personnes ont été tuées, vingt blessées; les dégâts matériels ont été considérables.

Citons encore l'explosion d'une chaudière cylindrique horizontale, qui s'est produite le 3 décembre 1884, à Carcassonne, et dont nous donnons les détails au n° 17 de notre relevé.

Les couvercles des récipients de vapeur d'un fort diamètre sont très sujets à de pareilles flexions ; ils agissent, en guise de soufflets, sous l'influence des pressions successives. Nous pouvons citer, comme exemple, l'explosion d'un couvercle de récipient qui s'est produite le 4 octobre 1888, dans une teinturerie, à Roanne, et dont nous donnons des détails au n° 12 de notre relevé.

Ce sont ces flexions qui font bomber les couvercles des récipients, et les détachent des boulons à charnière, comme nous l'avons déjà dit.

Ainsi que nous l'expliquerons plus loin, il se produit aux rivures, sous l'action de la pression, un pliage répété qui détériore ce point faible, surtout lorsque le poinçonnage des trous des rivets a déjà produit des commencements de fissures. Petit à petit ces fissures s'agrandissent et dégénèrent en cassures.

C'est à la déchirure d'une rivure causée par les flexions alternatives d'un fond plat qu'il faut attribuer l'explosion d'un récipient, de 2ᵐ18 de diamètre, survenue le 27 octobre 1885, à l'usine de la Société des huiles de Colombes (Seine).

« Le fond plat inférieur, dit le rapport officiel, s'est détaché circulai-
« rement ; la déchirure suit en partie la rivure qui relie le fond avec
« la cornière. Le fond est resté sur place ; le reste de l'appareil a été
« jeté dans l'atelier. »

Un ouvrier a été tué, un autre gravement blessé et deux légèrement brûlés.

Un accident identique est arrivé à un récipient de 1ᵐ70 de diamètre, dans une teinturerie à Villefranche (Rhône), le 3 avril 1886.

L'explosion qui s'est produite le 6 février 1866, dans une fabrique de draps de Metz, à une chaudière cylindrique à deux bouilleurs, provient du « règlement défectueux du niveau normal de l'eau qui était préci-
« sement à la ligne supérieure des carneaux et coïncidait avec une
« ligne de rivure.

« Le métal s'est successivement énervé dans cette partie déjà
« affaiblie par les trous des rivets par suite des alternatives de dilata-
« tion et de contraction qui étaient la conséquence des mouvements du
« plan d'eau. »

Deux ouvriers ont été brûlés par l'eau et la vapeur ; les dégâts matériels ont été très importants.

Les foyers ovoïdes ou dont les sections diffèrent du cercle subissent des flexions considérables sous l'action de la pression, si les tôles ne sont pas maintenues par des tirants ou des entretoises.

« Cette disposition ovoïde du foyer, éminemment déformable par la « pression de vapeur » a causé l'explosion d'une chaudière tubulaire à foyer intérieur, le 30 août 1881, à Balma (Haute-Garonne) et a tué un homme.

« L'écrasement du foyer a eu lieu, dit le rapport officiel, sous une « pression qui n'était probablement pas supérieure à la pression « normale. »

C'est encore à la « disposition ovoïde du foyer, insuffisamment relié « à l'enveloppe et à la plaque tubulaire ; à la tôle d'avant ni assez « épaisse ni assez élastique pour résister dans de pareilles conditions « aux variations répétées de pression et de dilatation » qu'on attribue l'explosion survenue le 6 février 1864, dans une scierie à Clenort (Loir-et-Cher) d'une chaudière forme locomotive.

L'appareil s'est rompu en deux tronçons principaux, tuant un ouvrier, en blessant grièvement deux autres et démolissant le hangar.

L'explosion survenue le 28 octobre 1886, dans une tuilerie de Saint-Henry, près Marseille, à une chaudière cylindrique à foyer intérieur, a causé « l'écrasement et la déchirure du foyer intérieur à l'endroit où il « cesse d'être cylindrique et prend une forme légèrement conique par « le relèvement de ses arêtes inférieures.

« Projection des débris de la chaudière à de grandes distances.

« Une jeune fille a été tuée par un des débris de l'explosion.

« Les dégâts matériels ont été importants. »

L'Ingénieur des Mines a attribué l'accident à « l'imprudence du « chauffeur qui a alimenté sur des parties portées à une haute tempé- « rature par suite du manque d'eau. »

Le manque d'eau n'est pas applicable ici, rien ne le justifie ; il faut bien plutôt trouver la cause de cet accident dans la forme tourmentée du foyer intérieur, qui s'est déchiré précisément au point le plus déjeté et le plus difficile à établir.

Les *vices de construction* produisent quelquefois le même effet que les dilatations inégales ; dans certains types de chaudières multitubulaires, par exemple, les tubes sont fixés sur des parties rigides qui s'opposent à leur libre dilatation ; ces tubes doivent forcément se cintrer sous l'action de la chaleur et par conséquent se fissurer.

Sous le n° **244**, **M.** Cornut (1889) présente un de ces tubes recourbés. C'est, dit-il, « l'effet produit généralement, après un temps « de marche plus ou moins long, sur les tubes inférieurs des chaudières « multitubulaires.

« Ces tubes, plus chauffés que les tubes supérieurs, s'allongent davan-
« tage que ceux-ci, et finissent par se courber tellement qu'il devient
« nécessaire de les remplacer. Quelquefois, par ce mouvement de
« dilatation, l'une des extrémités du tube se déboite et occasionne
« une fuite plus ou moins importante. »

Lorsque les tubes sont fixés sur des plaques tubulaires, ils agissent sur elles et engendrent des flexions alternatives, si ces plaques ne sont pas munies de tirants assez solides et assez nombreux ; l'intensité de cette action est d'autant plus grande que les tubes sont moins noyés dans l'eau, comme dans les chaudières verticales à foyer et cheminées intérieurs, et surtout dans les chaudières verticales tubulaires.

Les tubes-foyers produisent des actions identiques.

A la suite de l'explosion d'une chaudière verticale à foyer intérieur, survenue le 29 mars 1879, à Thaon, qui a brûlé une personne et incendié une grange, il a été constaté que « la partie inférieure de la
« cheminée qui est forgée en forme de bride et rivée au ciel du foyer,
« soumise à des efforts très inégaux et à des flexions répétées, s'est
« fendue à l'angle de raccordement en s'ouvrant complètement. »

L'action s'est portée ici sur la bride inférieure par suite de l'inclinaison assez prononcée de la cheminée.

Lors de l'explosion d'une chaudière verticale à foyer intérieur et cheminée centrale, survenue le 29 mars 1883, à Bordeaux, et qui figure sous le n° 45 dans notre relevé, le fond supérieur s'est déchiré par suite de fentes et fissures produites par la dilatation de la cheminée centrale.

Une explosion qui s'est produite le 9 octobre 1873, dans une imprimerie de Paris, sur une chaudière verticale tubulaire, est due a la surchauffe des tubes par suite d'un abaissement du niveau de l'eau; ces tubes, en se dilatant, ont brisé la plaque tubulaire supérieure qui s'est déchirée suivant la circonférence de l'emboutissage et suivant plusieurs lignes rayonnant du centre à la circonférence.

Le n° 48 de notre relevé donne des détails sur l'explosion d'une chaudière à trois foyers intérieurs, survenue le 30 août 1882, à Ajaccio, par suite de déchirures produites à la jonction du foyer avec la plaque verticale de la boîte à feu.

Cette action des tubes se fait sentir, non seulement sur le congé de la plaque tubulaire emboutie, mais encore sur la réserve entre les trous des tubes ; et, pour les appareils où cette réserve est très faible, comme les locomotives ou les chaudières de bateaux, les cassures dans ces plaques sont très communes ; un service de réparation est, souvent,

spécialement équipé pour consolider ces cassures avec des goujons, ou mieux avec des éclisses maintenues par de petits goujons rivés.

M. Cornut (1878) fait figurer, sous le n° 152 *bis*, une plaque tubulaire de locomotive entièrement fendue sous l'action des tubes.

« La figure, dit-il, montre que tout le tour de la circonférence de « cette plaque, une rainure très profonde s'est formée, mais s'arrête à « l'endroit des tirants, c'est-à-dire au moment où les tubes cessent, « et environ à la séparation du niveau d'eau et de la vapeur.

« La différence de dilatation entre les tubes de laiton et le corps « cylindrique est l'origine de cette fente, mais le défaut s'aggrave par « l'oxydation intérieure. »

Le poids des tubes influe du reste sur ces avaries, et c'est pour éviter de trop fatiguer les plaques tubulaires qu'on place quelquefois, au milieu du corps cylindrique, une tôle qui sert de support aux tubes.

Certains *vices d'installation* sont suivis de semblables accidents.

Pour les chaudières à bouilleurs, par exemple, d'une longueur considérable, si les supports des bouilleurs sont trop éloignés les uns des autres, le poids du générateur tend à cintrer ces bouilleurs. Le même effet se produit lorsque ces supports, bien qu'en quantité suffisante, sont mal calés. Quelquefois ce calage est tellement défectueux que les bouilleurs ne portent que par leur tête et leur fond ; dans ce cas, tout le poids de la chaudière agit pour les faire cintrer. L'échantillon n° 59, exposé par M. Cornut (1889), en est un exemple remarquable.

Parfois aussi ces supports sont placés de telle façon qu'ils tendent à ouvrir la clouure ; cette disposition provoque et facilite les fentes à ces clouures.

D'autres fois, ils ont une surface de contact insuffisante; si la tôle est trop faible pour résister à l'effort produit sur cette surface par le poids de la chaudière, elle se déforme et se casse.

Des avaries semblables peuvent être occasionnées par les supports à oreilles mal conditionnés.

Ces supports sont généralement trop faibles ; on paraît ne les placer que comme organes de secours ; mais les maçonneries inférieures s'affaissent et il arrive souvent qu'une chaudière n'est soutenue que par ces oreilles qui, alors, se cassent ou détériorent leurs points d'attache.

C'est aux fuites importantes, provenant de cassures produites par les attaches des supports à oreilles, que l'on doit attribuer le manque d'eau qui a causé l'explosion d'une chaudière cylindrique, survenue le 6 septembre 1885, aux mines de Comberigol (Loire).

« La *corrosion extérieure,* dit M. Cornut, est la cause la plus générale « et la plus fréquente des détériorations des chaudières. Cette corro- « sion marche souvent avec une rapidité très grande; elle attaque « indifféremment toutes les parties des chaudières, soit visibles, soit invi- « sibles.

« L'agent principal de la corrosion extérieure est, sans contredit, « l'eau ou la vapeur d'eau. »

Cette eau peut provenir soit de *fuites au générateur*, par les joints ou les robinets, par les chanfreins, les pinces ou les rivets (1). L'eau émanant de ces fuites coule sur les tôles de la chaudière, toujours aux mêmes points, et y creuse des sillons; mais, dit encore M. Cornut, toutes les fois que l'eau d'une fuite vient à rencontrer, le long d'une tôle, un obstacle tel que chanfrein, ligne de rivets, arêtes des supports, elle se trouve arrêtée et l'oxydation se fait beaucoup plus rapidement.

« Il est pourtant bien facile de se mettre à l'abri de pareils accidents, « ajoute-t-il.

« En effet, si les fuites proviennent de robinets, de joints, de tuyaux, « placés au-dessus des générateurs, il faut obliger les chauffeurs à « recevoir l'eau dans des seaux ou vases quelconques jusqu'au moment « de la réparation.

« Dans la construction de tous les nouveaux générateurs, il faut « éviter avec le plus grand soin les ouvertures sur la partie supérieure; « mais, en tous les cas, on ne devra jamais monter un appareil de « sûreté ou nn robinet, sur le corps cylindrique, par un joint curviligne.

« On doit river sur la chaudière, des piétements en fonte de 25 à 30 « centimètres de longueur, suivant la hauteur de la maçonnerie, l'espa- « cement des rivets étant égal à celui adopté pour la chaudière ; une « feuille de cuivre (ou de fer doux) de 2 à 3 millimètres d'épaisseur,

---

(1) M. Cornut (1889) a exposé un assortiment complet d'échantillons de corrosions produites par ces fuites :

Nos 102 à 104.	Fuites aux robinets;
— 105-109.	— aux bouchons autoclaves;
— 106	— aux joints du tuyau d'alimentation;
— 108	— aux tubes;
— 110-111.	— aux joints des soupapes;
— 113	— au joint du piètement;
— 125-132.	— aux pinces;
— 133-134.	— aux rivets;
— 114-124.	— aux chanfreins;
— 184-190.	— aux communications.

« interposée entre la fonte et la tôle et matée convenablement, assurera « une étanchéité parfaite.

« Les appareils de sûreté ou les robinets seront alors montés par des « joints ordinaires, faciles à faire, sur la partie horizontale supérieure « des piétements.

« Les robinets de prise de vapeur, pour le manomètre et le niveau « d'eau à tube, seront fixés sur ces piétements ou sur ceux des sou- « papes, et assez haut pour que l'on puisse toujours recueillir l'eau des « fuites qu'ils occasionneraient. »

L'explosion survenue, le 27 décembre 1879, dans un atelier de construction de Paris, est un terrible exemple d'accident dû à une simple fuite au joint du tuyau d'alimentation.

Bien que la chaudière fût de petite capacité, elle n'en a pas moins tué sept personnes et blessé trois autres plus ou moins grièvement.

La chaudière était mi-fixe, de forme dite à T.

« Le corps horizontal s'est déchiré suivant une sorte d'hélice « partant d'un point situé à l'extrémité de la génératrice inférieure « du cylindre et se terminant à l'autre extrémité, après avoir fait une « fois et demie environ le tour du cylindre. Un morceau s'est détaché. »

Après l'accident, l'ensemble affectait la forme d'un tire-bouchon.

Il y avait, sous le corps cylindrique, une région de 1/3 de mètre carré environ où l'épaisseur de la tôle était réduite à un millimètre et demi, et même à 1 millimètre en quelques points.

On peut quelquefois se tromper sur l'origine des fuites et attribuer au chanfrein une fuite venant des rivets; l'échantillon 61 en montre un exemple:

« Une fuite s'étant manifestée au chanfrein, dit M. Cornut (1889), on « l'avait attribuée à une cassure dépassant ce chanfrein et on avait cru « arrêter la fuite en posant deux goujons dans la cassure et en rematant « le chanfrein. Les fuites ayant persisté, on se décida à découper la « bordure des deux tôles ; la fuite provenait d'une cassure circulaire « dans la ligne des rivets à laquelle la pose de goujons et le rematage ne « pouvaient nullement remédier. »

Les *maçonneries*, lorsqu'elles sont *mouillées*, deviennent corrosives ; et, comme de plus elles maintiennent longtemps leur humidité, les corrosions au contact de cette humidité, présentent deux caractères bien spéciaux :

1° Destruction plus rapide du métal ;

2° Extension considérable des surfaces attaquées.

Le 30 octobre 1879, une chaudière cylindrique à foyer intérieur a

fait explosion à Lyon, par suite d'une déchirure produite par la corrosion engendrée par l'humidité de la maçonnerie.

Cette humidité provenait de fuites persistantes au fond d'arrière de la chaudière. Trois personnes ont été blessées.

Pour une cause identique, une chaudière du même système s'est rompue, le 7 août 1882, à Entre-deux-Guiers (Isère). Trois hommes furent tués.

Le 23 janvier 1882, une chaudière verticale a fait explosion, à Lyon, par suite de la corrosion du pourtour extérieur du fond de la chaudière qui reposait sur la maçonnerie, maintenue humide par des fuites aux rivures et aux joints des niveaux d'eau.

L'eau provenant de l'*humidite du sol* agit de la même façon, cette action est beaucoup plus importante qu'on ne le suppose.

Nous avons, un jour, assisté à l'épreuve d'une chaudière d'occasion, de forme locomotive, reposant depuis son installation sur le sol; la chaudière ayant très bien supporté la pression d'essai fut timbrée. Peu de jours après, elle fut enlevée et nettoyée. A la suite de ce nettoyage, on reconnut que la partie inférieure de l'enveloppe du foyer était absolument corrodée; de nombreux trous que l'épreuve n'avait nullement révélés existaient vers le cadre du bas. Toute la partie inférieure, sur une hauteur d'environ 20 centimètres, reconnue mauvaise, fut coupée et remplacée.

M. Cornut cite le fait exactement semblable d'une chaudière corrodée par l'humidité, laquelle, éprouvée par le service des Mines, fut acceptée et timbrée ; cependant, la pression étant encore à 9 kilogr., il a suffi de gratter la tôle, sans même la frapper, pour constater un trou bouché par la suie : le bouilleur était crevé.

Sous les n°s 144 et 147, il présente deux échantillons de plaques de fond d'une locomobile et d'une chaudière verticale Field très corrodées par l'humidité du sol.

Le 3 octobre 1882. une chaudière cylindrique, à flammes renversées, a fait explosion, aux mines de Roche-la-Molière (Loire). Le fond du bouilleur réchauffeur s'est complètement détaché et a été projeté à 20 mètres, en faisant quatre victimes.

Ce fond, placé en contre-bas du sol, était maintenu humide par l'eau du cendrier.

Les ***produits de la combustion*** sont des agents très actifs de corrosion.

La plupart des houilles renferment des pyrites de fer dont la décom-

position dans le foyer produit de l'acide sulfureux. Les gaz de la combustion contiennent donc cet acide, ils contiennent aussi de la vapeur d'eau.

Ces gaz, par les éléments qu'ils renferment ou par les produits qu'ils peuvent engendrer ont une action sur les tôles des chaudières.

Il ne paraît pas que cette action soit immédiate ; si le métal plus ou moins surchauffé change de nature et prend un certain état rouverin, bien constaté actuellement, on l'attribue généralement aux actions moléculaires produites par les dilatations ou les vibrations. Cependant l'action du soufre ou du silicium peut ne pas être négligeable ; les études approfondies font défaut sur ce point.

« Les métaux, quels qu'ils soient, dit M. Tertud de Beauregard, « changent de nature en présence de la dilatation et de la contraction « souvent répétée. A cette occasion, est-il nécessaire de rappeler les « effets de la trempe qui modifient si profondément les qualités de l'acier ; « la trempe qui n'est autre chose qu'une contraction brusque créant un « arrangement moléculaire particulier ?

« Oui, tous les métaux modifient leur constitution par la soustraction « spontanée du calorique dont ils sont empreints ;... le fer, car ce métal « est, pour notre sujet, celui qui nous intéresse davantage, le fer le « plus doux, le plus nerveux, se cristallise et, par conséquent, devient « aigre et cassant par le seul fait d'un refroidissement immédiat...

« Quant aux gaz, produits de la combustion, ils agissent sur le métal, « d'abord physiquement, à l'aide du calorique dont ils sont imprégnés, en les dilatant ; ensuite chimiquement, en se combinant plus « ou moins au dit métal. Les plus dangereux, ceux qui provoquent la « détérioration la plus prompte, sont ceux qui contiennent du soufre. »

Mais la principale action de ces produits s'opère par l'intermédiaire des suies très hygrométriques qui s'attachent aux parois externes des chaudières, même dans les parties les plus chaudes.

Ces suies, une fois humides, absorbent l'acide sulfureux, lequel, en présence du fer ou de ses oxydes, se transforme en acide sulfurique qui attaque le métal, en produisant des sulfates de fer.

Lors de l'explosion survenue le 18 avril 1877 à l'usine à fer de Messempré (Ardennes), d'une chaudière cylindrique à deux bouilleurs, chauffée par les flammes perdues d'un four à souder, dix ouvriers furent brûlés par l'eau bouillante.

Le bouilleur s'est déchiré sur le flanc par suite de l'usure progressive du métal. L'épaisseur primitive de 8 millimètres était réduite à un millimètre et demi.

« Mais il n'y a pas eu d'explosion proprement dite, en ce sens que « le générateur n'a pas été projeté et que le faible déplacement qu'il a « éprouvé n'est dû qu'à la rupture de l'une des colonnes de soutien. »

En examinant les causes de l'usure, M. Nivoit, Ingénieur des Mines, dit :

« L'usine comporte 9 chaudières à vapeur qui, toutes, sont couvertes, « dans les parties soumises à l'action des flammes ou des gaz chauds, « d'une suie noire ou de plaques blanchâtres ou verdâtres adhérentes « au métal.

« Quatre échantillons ont été examinés au laboratoire départemental « de chimie de Mézières. Voici le résultat de ces essais :

Acide sulfurique.	10,67	21,33	21,25	34,40 °/o
Oxyde de fer et alumine . .	4,45	16,80	18,10	26,50 °/o

« On remarque que, dans ces substances, l'oxyde de fer ou l'alu- « mine ne sont pas en proportion suffisante pour former avec l'acide « sulfurique des sulfates neutres; elles contiennent donc de l'acide « sulfurique libre, ou au moins des sulfates acides susceptibles d'at- « taquer le fer.

« Dès lors, l'usure extérieure de la tôle s'explique très facile- « ment...

« Le séjour des suies acides sur les tôles des générateurs présente « donc de grands dangers. »

Cette action, ainsi que les opérations qui la précèdent ou l'accompagnent, se produisent avec d'autant plus de rapidité que l'humidité est plus grande et la température moins élevée.

Une fuite, même peu importante, à la chaudière a, dans ce cas, une influence considérable.

La tôle ainsi attaquée diminue d'épaisseur jusqu'à ce qu'une explosion s'ensuive.

Ces corrosions atteignent plus spécialement les bouilleurs-réchauffeurs, non seulement parce qu'ils constituent la partie naturellement la moins chaude du générateur, mais encore parce qu'il s'y forme toujours une chambre d'air produite par l'intermittence de l'alimentation et qui en diminue la température.

Les accidents dus à cette cause sont fréquents :

Notre relevé contient, sous le n° 17, des détails sur l'explosion du bouilleur-réchauffeur d'une chaudière cylindrique à deux bouilleurs et un réchauffeur latéral, survenue le 15 juin 1883. Cette explosion, citée

par M. Cornut, ne figure pas sur les relevés officiels. Cette circonstance n'est pas une exception : ces relevés sont très incomplets.

Sous le n° 21, nous donnons des détails sur l'explosion du bouilleur-réchauffeur inférieur d'une chaudière horizontale cylindrique avec deux réchauffeurs latéraux superposés, qui a eu lieu le 22 septembre 1886, à Issauka (Hérault).

Voici un autre exemple remarquable d'accident dû à ces corrosions :

Les deux bouilleurs d'une chaudière cylindrique avaient été tenus assez longs pour que leurs têtes, en dépassant le fourneau de chaque côté, puissent donner un facile accès intérieur.

Ce fourneau était placé au-dessus du sol, de manière que les gaz, après avoir circulé autour des bouilleurs et de la chaudière, gagnaient le conduit de fumée en frappant de haut en bas la partie arrière des bouilleurs qui se trouvait ainsi enserrée entre deux maçonneries et chargée des produits de la combustion.

Les viroles des bouilleurs étaient mal emmanchées ; les deux extrêmes avaient un diamètre plus grand que les intermédiaires qui portaient les cuissards, de sorte qu'un ciel d'air froid, provenant de l'introduction de l'eau d'alimentation à l'arrière, existait d'une façon permanente à l'extrémité des bouilleurs.

Les produits de la combustion se trouvaient donc dans les conditions les plus favorables pour attaquer la tôle ; elle fut corrodée, se fendit, et une pièce mise en cet endroit eut le même sort.

Nous pouvons citer encore le très curieux exemple suivant :

Une chaudière cylindrique verticale, chauffée par les flammes perdues d'un four métallurgique, possédait, pour réchauffeur, une chaudière jumelle.

Ces chaudières étaient reliées par deux communications situées à une certaine hauteur.

Les flammes chauffaient le vaporisateur de bas en haut et le réchauffeur de haut en bas ; l'alimentation suivait le sens inverse.

Les produits de la combustion s'accumulèrent au bas du réchauffeur qui était toujours froid, et finirent par corroder la tôle assez fortement pour qu'elle s'ouvrît.

L'eau passant par la déchirure de $0^m\ 40$ de côté fut projetée à plus de 60 mètres de la chaudière.

Cette explosion, survenue le 15 février 1877, aux forges de Saint-Étienne, a fait plusieurs victimes.

Il faut donc aménager les réchauffeurs de manière à les rendre abordables et il importe de les brosser souvent.

Une bonne disposition, permettant d'éviter ces corrosions, consiste à munir la partie supérieure des réchauffeurs d'une calotte en tôle mince sur laquelle se déposent les suies et qui est, par conséquent, attaquée aux lieu et place des tôles du réchauffeur. On enlève, de temps à autre, cette calotte pour la nettoyer, et on la remplace, sans beaucoup de dépenses, quand elle est usée.

Les constructeurs ont cru, pendant longtemps, que, par suite de la faible température à laquelle ils étaient soumis, les réchauffeurs ne pouvaient se détériorer; ils ont, en conséquence, établi des réchauffeurs communs à deux générateurs.

Ces appareils sont, au contraire, très sujets à détérioration ; ils sont exposés à la corrosion extérieure que nous examinons ici, à la corrosion intérieure que nous allons étudier, ainsi qu'aux dilatations inégales.

Leur fonctionnement continu rend la visite intérieure difficile et, par conséquent, leur emploi dangereux (1).

La *corrosion intérieure* produit sur la partie interne des parois du générateur des effets analogues à ceux que nous venons de constater à l'extérieur. C'est par l'oxygène dissous dans l'eau que le fer s'oxyde et plus spécialement avec le concours de l'acide carbonique.

Cette oxydation corrode les tôles généralement sur de grandes surfaces, présentant alors des cavités plus ou moins profondes, remplies de poudre brune principalement composée de sesquioxyde de fer, et qu'on a désignées sous le nom de pustules.

« Ces actions. disent MM. Richard et Baclé, sont plus ou moins favo-
« risées par la nature même du métal qui intervient surtout par son
« défaut d'homogénéité. Si le métal est homogène, il n'apparait aucune
« raison pour que l'attaque des eaux ne se fasse pas uniformément sur
« toute sa surface. C'est ce qui explique, dans bien des cas, la supériorité
« des tôles d'acier doux bien travaillées sur les tôles de fer. Cette supé-
« riorité exige que le métal soit de bonne qualité et que l'on n'ait pas
« détruit son homogénéité par un travail trop négligé à la forge. »

Généralement, l'action corrosive a son maximum au point d'arrivée de l'eau d'alimentation, et elle va en diminuant au fur et à mesure qu'elle s'éloigne de ce point. Elle attaque les tôles, les têtes de rivets, les tirants, les entretoises, etc.

---

(1) M. Cornut (1889) donne, sous le n° 118, un exemple de corrosion d'un bouilleur-réchauffeur commun à deux générateurs.

C'est pour cette raison que les réchauffeurs sont les parties les plus corrodées de la chaudière.

Sous les nos 164 et suivants, M. Cornut (1889) présente des échantillons très intéressants de ces corrosions se rapportant presque tous aux bouilleurs-réchauffeurs.

A propos de l'explosion d'une chaudière de locomotive survenue à Moulins, le 10 novembre 1862, et que l'Ingénieur des Mines attribue à la rupture préalable d'entretoises, il fait remarquer que ces entretoises se corrodent rapidement quand elles sont en fer et donne l'excellent conseil de les établir en cuivre et de les forer pour que leur rupture soit immédiatement signalée.

Lorsque certaines parties de la chaudière sont soumises à des flexions, elles se fendillent très légèrement d'abord, mais suffisamment pour emprisonner une petite quantité d'air humide; une pellicule d'oxyde se forme, se casse sous l'action de flexions subséquentes, le fer s'oxyde de nouveau et, finalement, un sillon s'établit qui s'approfondit quelquefois très rapidement.

L'explosion d'une locomotive du chemin de fer de l'Est, survenue le 30 juillet 1879, qui a brûlé le chauffeur et le mécanicien, a été causée par un défaut de cette nature.

« Il s'est formé, dit l'Ingénieur des Mines, à l'intérieur et en dessous « de la pièce, un *sillon* dans la région où le fer était défectueux ; il s'est « agrandi de manière à ne laisser au métal intact qu'une épaisseur « insuffisante pour résister à la pression. »

Pour que cette action se produise, il suffit que les pièces soumises à des efforts de flexion soient en contact avec de l'air humide ; ce phénomène a donc lieu même au-dessus du niveau de l'eau, ainsi que le montre M. Cornut (1889) par les échantillons 165 à 168.

M. Vinçotte a constaté que, dans une chaudière alimentée avec de l'eau d'un terrain ardoisier, la tôle de la chambre de vapeur était corrodée et creusée de nombreuses petites rigoles, un peu au-dessus du niveau de l'eau, sur une zone de 15 à 20 centimètres de largeur.

C'est au matage, à la ligne de rivure, au congé des fonds emboutis, aux plaques tubulaires qu'on observe surtout ces corrosions. Elles s'ajoutent aux efforts mécaniques pour former ces fentes ou fissures dont nous avons déjà parlé et qui compromettent le plus gravement la solidité des chaudières à vapeur.

Lorsque les tubes de certaines chaudières sont longs et nombreux, ils fatiguent beaucoup les plaques tubulaires ; on les supporte quelquefois par une tôle intérieure percée de trous.

Une certaine quantité d'air humide s'interpose entre les tubes et leur support et, les vibrations produisant des mouvements analogues à ceux des flexions alternatives, cet air corrode, de la même façon, les surfaces en contact.

Le contact de corps étrangers produit, par l'air qu'il retient, de pareilles actions corrosives. C'est ainsi que M. Cornut (1878) montre, sous le n° 62, un tube corrodé par la présence d'une clef ordinaire, dite clef en S, dont une des extrémités avait elle-même un bec mangé sur 10 millimètres de hauteur.

Mais il attribue, lui, ces corrosions à une tout autre cause :

« Les actions voltaïques, dit-il, ainsi que l'action mécanique due au « mouvement du tube et de la clef occasionné par les trépidations du « passage de la vapeur avaient produit cette usure inégale des deux « métaux. »

Sous le n° 247 il cite encore, mais sans le faire suivre d'observations, le cas d'une corrosion produite par la présence d'un fil de cuivre dans le faisceau tubulaire.

Pour prévenir, ou tout au moins pour atténuer l'action nuisible, sur les tôles, de l'air dissous dans l'eau, le meilleur moyen est de placer l'arrivée de l'eau d'alimentation dans un récipient spécial en communication avec la réserve de vapeur.

Les *eaux acides*, ou même les *eaux grasses*, qui contiennent également une certaine quantité d'acide, corrodent très rapidement les tôles.

C'est principalement l'eau extraite des mines de houille qui est acide et, par conséquent, corrosive.

Nous pouvons citer, à ce sujet, l'explosion d'une chaudière cylindrique survenue le 1er avril 1865 à la Compagnie des forges d'Aubin (Aveyron) :

Les eaux acides de la mine de houille appartenant à la même Compagnie et qui étaient employées pour l'alimentation ont corrodé la chaudière près de la ligne du niveau d'eau, dans une zone où l'épaisseur qui, primitivement était de 12 millimètres, fut réduite, par suite de cette corrosion, à 2 et même à 1 millimètre.

Quatre ouvriers ont été tués, plusieurs autres blessés, dont deux assez grièvement.

Citons encore l'explosion survenue aux mines de Brassac, le 13 août 1847, d'une chaudière cylindrique, dont la calotte antérieure a été lancée à 70 mètres et la partie moyenne, projetée en l'air, est restée suspendue sur le balancier de la machine.

Une certaine catégorie de récipients sont utilisés pour le traitement

des matières acides ; ils se corrodent quelquefois très rapidement et nécessitent une inspection soigneuse et continue.

Dans une fabrique de bougies de Saint-Denis, un appareil autoclave en cuivre, servant à la saponification des suifs, s'est ouvert, le 31 octobre 1873, en tuant un ouvrier, en blessant grièvement deux autres et en produisant des dégâts matériels considérables.

Les tôles de cuivre, primitivement de 15 millimètres, avaient été réduites à une épaisseur de 7 millimètres, par l'action des matières acides employées ou produites dans l'opération de la saponification.

Il n'est pas toujours facile de constater si la corrosion des chaudières à vapeur est produite par l'acidité des graisses, parce qu'elle peut provenir de causes multiples ; mais on trouve des exemples de ces corrosions dans d'autres circonstances : M. Cornut (1889) présente, sous le n° 254, des échantillons très instructifs d'une tige et de tuiles de tiroir très corrodées par les graisses ayant servi à la lubrification de ces organes. Il montre aussi, sous le n° 172, un exemple de corrosion d'un foyer par une eau d'alimentation grasse.

Les agents chimiques, tels que les chlorures, existant naturellement dans l'eau d'alimentation ou qu'on y ajoute pour l'épurer, peuvent donner lieu à des corrosions énergiques.

Le chlorure de magnésium, dit M. Bour, formé par la décomposition du chlorure de baryum, employé comme désincrustant, « se décom- « pose, à une température assez basse, en acide chlorhydrique et en « magnésie ; l'acide chlorhydrique se combine au fer sur la tôle même « où se fait la décomposition, c'est-à-dire sur la tôle la plus chaude, « et le reste de la chaudière reste indemne. »

« Et, ajoute M. Vinçotte, les corrosions peuvent, dans ces conditions, « se produire très bien sous les incrustations. »

Enfin, lorsqu'une chaudière restant en chômage contient une certaine quantité d'eau, elle s'oxyde assez rapidement, surtout à la ligne d'eau.

La chaudière cylindrique tubulaire à foyer amovible qui a fait explosion dans un atelier de construction, à Paris, le 17 novembre 1871, « était pour ainsi dire neuve, mais elle avait été abandonnée pendant « la guerre, sans soin, avec l'eau qu'elle contenait. On venait de la « mettre en feu pour faire au frein l'essai de la machine. »

Deux ouvriers ont été tués, brûlés par la vapeur ; six ouvriers ont été blessés grièvement.

C'est à la suite d'un long chômage qu'a eu lieu, dans une fabrique de lacets, à Lorette (Loire), l'explosion d'un générateur vertical avec tube intérieur, contusionnant un ouvrier.

« L'appareil, après un chômage de huit ans, a été remis en feu le « 4 août 1885. Le 17 août, le tube intérieur s'est déchiré, et la chau- « dière tout entière, projetée en l'air, est retombée à 10 mètres de « distance. »

L'explosion d'une chaudière cylindrique à foyer intérieur pour locomobile, survenue le 14 août 1878 à Cesson, par suite de corrosions, et ayant fait six victimes, a montré que « la partie inférieure du corps « cylindrique était corrodée surtout par les chômages pendant lesquels « l'air, aidé d'une petite quantité d'eau, avait produit de dangereuses « oxydations. »

L'échantillon présenté, sous le n° 175, par M. Cornut (1889) est un « fragment de la dernière demi-virole supérieure du bouilleur de droite « d'une chaudière cylindrique à trois bouilleurs, très ancienne. Cette « partie postérieure du bouilleur présentait, dans le haut, une cor- « rosion intérieure très accentuée. Au moment de la visite, la chaudière « était en chômage depuis six mois, par suite d'un incendie, et il y « était resté de l'eau ; de l'air humide s'était cantonné dans le haut « du bouilleur à l'arrière par suite de la pente de celui-ci vers l'avant. »

Toute chaudière destinée à rester en chômage pendant un temps plus ou moins long doit être l'objet de précautions spéciales. Voici, d'après les *Annales industrielles*, certaines instructions concernant les chaudières multitubulaires employées dans la marine :

« Elles doivent être maintenues entièrement pleines d'eau douce, chaque fois qu'elles doivent rester quelque temps sans fonctionner. Pour les grandes chaudières ayant de gros tubes, il convient de mêler à l'eau un lait de chaux ou bien une solution de soude. Pour les chaudières à petits tubes, l'eau doit être aussi additionnée de lait de chaux ou de soude ; mais, afin d'éviter toute obstruction des tubes, les solutions serviront uniquement à neutraliser l'acidité de l'eau. Les mêmes instructions recommandent de se préoccuper de la conservation, à l'extérieur, des tubes en fer ou en acier des générateurs qui doivent rester inactifs pendant une longue période. Dans ce but, on doit d'abord peindre au minium ou au coaltar toutes les parties accessibles du faisceau. Si certains points n'ont pu être atteints, on brûlera sous le faisceau une certaine quantité de goudron ou de coaltar dont la fumée intense se condensera sur les surfaces froides des tubes remplis d'eau, et formera sur ces tubes une couche de suie les mettant à l'abri du contact de l'air. La fermeture hermétique de la caisse contenant le faisceau tubulaire devra en outre être effectuée et on placera de la chaux vive à l'intérieur. On devra visiter de temps à autre les chaudières ainsi con-

servées, surtout dans le but de s'assurer que le plein d'eau existe toujours. »

Signalons, en dernier lieu, l'usure que peuvent produire les actions mécaniques des boues, des sables, de l'eau et même de la vapeur, aussi bien que celles des matières élaborées dans des récipients spéciaux qu'elles usent à la longue.

Nous avons déjà signalé les avaries produites par ces matières sur le cuivre.

Bien que moins malléable, le fer s'use aussi à la longue.

Nous pouvons citer, à ce sujet, l'explosion d'un récipient cylindrique rotatif qui s'est produite le 9 décembre 1885 dans une fabrique de papiers, à Ponts et Marais (Seine-Inférieure), par suite de l'usure mécanique des têtes des rivets produite par les matières dont il était chargé.

En résumé, l'usage d'une chaudière à vapeur peut déterminer en elle des défauts très dangereux qui sont ou deviennent des causes graves d'explosion.

L'attention et les soins sont les meilleurs moyens préventifs ; mais il faut surtout veiller à ce que ces défauts ne deviennent pas menaçants. Il est donc nécessaire de faire visiter très souvent les appareils à vapeur par des personnes compétentes et de suivre leurs conseils.

C'est encore par l'épreuve hydraulique à haute pression que l'Administration cherche à constater la solidité d'une chaudière dant la résistance a diminué par l'usage. Nous allons bientôt montrer que cette pratique ne peut atteindre le but cherché, et même qu'elle provoque ou augmente les défauts existants et, qu'au lieu d'être un moyen préventif, elle devient, par conséquent, une cause très grave d'explosion.

DIMINUTION DE LA RÉSISTANCE PRODUITE PAR LA SURCHAUFFE

Les tôles d'une chaudière à vapeur sont en contact, par une de leurs faces avec la flamme ou les gaz chauds, et par l'autre, soit directement, soit par l'intermédiaire de diverses substances, avec l'eau à vaporiser ou avec la vapeur elle-même.

Pour l'examen des phénomènes qui accompagnent la production industrielle de la vapeur, et surtout en vue de l'étude des accidents et des explosions qui en sont trop souvent une conséquence, il importe de connaître les variations de température de la tôle dans la pratique industrielle.

Jusqu'à ces derniers temps, on n'avait que des idées vagues sur ce point, les remarquables expériences de M. Hirsch ont comblé en partie cette lacune. Il serait à désirer que cet éminent Ingénieur voulût bien les continuer et achever d'édifier le monde savant et industriel sur un sujet aussi grave.

Nous nous appuierons sur les résultats qu'il a obtenus et sur les conséquences qu'il en a tirées.

Lorsque la tôle, saine et continue, est bien mouillée par l'eau de la chaudière, même exposée à un feu violent, elle ne prend en aucun de ses points une température assez élevée pour que sa solidité soit sensiblement altérée.

La viscosité de l'eau, même lorsqu'elle est portée à un degré assez élevé n'empêche pas la tôle d'être bien mouillée et ne diminue pas notablement le pouvoir réfrigérant du liquide.

La surchauffe des tôles est, dans ces cas, toujours inférieure à 100 degrés.

Tout le monde a pu remarquer un mouvement souvent très prononcé de la tête des bouilleurs d'une chaudière ; ce mouvement, ordinairement de bas en haut, provient de la dilatation plus considérable des tôles inférieures qui force le bouilleur à se cintrer.

Cette dilatation est évidemment produite par la surchauffe des tôles.

Lorsque les bouilleurs sont chauffés sur toute leur surface, ce mouvement n'a pas lieu la plupart du temps, parceque les dilatations sont égales, mais la surchauffe n'en existe pas moins.

Enfin, lorsque les bouilleurs sont surmontés d'une voûte, leur partie supérieure, formant presque toujours ciel de vapeur, est la plus surchauffée, bien qu'elle soit en partie protégée par les cendres ; dans ce cas, les bouilleurs se cintrent en présentant la ligne concave en dessous.

Ce même phénomène a lieu dans les chaudières à foyers intérieurs.

« Lorsque les foyers intérieurs, dit M. Vinçotte, commencent à se « remplir de cendres, la tôle inférieure ne dépasse plus la température « de l'eau, tandis que le dessus est fortement chauffé. Alors le foyer « prend la forme d'un arc. »

Quand la tôle n'est pas mouillée par l'eau de la chaudière, les choses se passent autrement suivant la substance interposée. Nous allons examiner les cas où la tôle se trouve en contact avec les incrustations diverses, les matières grasses et la vapeur elle-même, cas dit du manque d'eau.

INCRUSTATIONS

Les incrustations qui tapissent la paroi intérieure des tôles d'une chaudière à vapeur sont des substances moins bonnes conductrices de la chaleur que le métal; elles doivent donc favoriser la surchauffe de la tôle.

Les belles expériences de M. Hirsch ont montré, en effet, qu'avec la présence d'une couche d'incrustations de 1 millimètre, la température des tôles commence à s'élever, et que, avec une couche de 5 millimètres, elle peut devenir dangereuse sous l'action de feux d'une extrême violence.

Or, il arrive souvent que, sur les tôles dites du coup de feu, ces couches d'incrustations dépassent cette épaisseur ; il n'est même pas rare d'en trouver ayant 15 à 20 millimètres ; la surchauffe devient alors considérable.

Les Ingénieurs des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur considèrent, comme forte, une incrustation de plus de 8 millimètres.

La surchauffe produit une diminution de résistance de la tôle. On sait, en effet, que la tôle de fer possède un maximum de résistance vers la température de 180° et que, à partir de ce chiffre, sa résistance

diminue assez rapidement ; par contre sa ductilité augmente avec la température.

Lorsque la surchauffe atteint une certaine intensité, les incrustations se fendillent et se détachent, spécialement sous l'action des dilatations et des contractions successives.

Si les matières détachées proviennent d'une partie supérieure, comme des tubes d'une chaudière semi tubulaire, par exemple, elles affluent sur les tôles des bouilleurs qui reçoivent rapidement le coup de feu.

Sous le n° 32, M. Cornut (1889) montre un exemple de deux bosses produites par cette cause.

Quand les incrustations se détachent de la tôle placée en vue du foyer, la surchauffe peut avoir été assez forte pour que la contraction subite, produite par le contact de l'eau, déchire la tôle et détermine l'explosion ; sinon, les matières détachées se forment en amas sur la tôle qui reçoit alors le coup de feu.

L'explosion d'une chaudière cylindrique à deux bouilleurs survenue le 2 janvier 1864, à Paris, provient, dit le rapport officiel, d'un « dépôt « de matières incrustantes au-dessus du foyer, dû à l'emploi d'eaux « séléniteuses et à l'insuffisance des nettoyages.

« Sous l'action de la chaleur, les incrustations se sont fendillées et « l'eau, arrivée au contact des parois métalliques fortement chauffées, « s'est subitement transformée en vapeur. »

On dit qu'une chaudière a reçu le *coup de feu*, lorsque la tôle a été portée au rouge sur une étendue plus ou moins grande.

Le coup de feu est caractérisé par divers indices, notamment par une teinte bleuâtre que prend la tôle sur sa face exposée à la chaleur, teinte due à la formation d'une couche d'oxyde qui se change bientôt en rouille.

Les indices nécessaires pour caractériser une explosion par coup de feu, ne sont pas suffisants pour la certifier ; ils peuvent avoir été produits antérieurement à l'accident, ou même *après l'explosion* par le feu restant encore sur la grille et non complètement éteint par l'eau projetée.

Cette circonstance a été constatée plusieurs fois, notamment lors de l'expertise judiciaire faite à la suite des explosions presque identiques qui se sont produites, en 1886, à Paris, dans les raffineries Say et Lebaudy, et dont nous parlons ailleurs.

Nous pouvons maintenant examiner les effets produits par la surchauffe des tôles sous l'influence des incrustations.

Si l'incrustation n'a qu'une faible épaisseur, la surchauffe est faible aussi et ne produit pas, dans la pratique, d'avaries appréciables.

L'incrustation se développant, la surchauffe s'accentue. Elle engendre d'abord des dilatations inégales pouvant, comme nous l'avons déjà dit, occasionner des fentes ou fissures toujours dangereuses ; ainsi que le montre M. Cornut (1889) par l'échantillon n° 12.

La résistance de la tôle commence, de plus, à diminuer.

L'incrustation ou la violence du feu augmentant encore, la surchauffe de la tôle augmente également, il se forme alors une bosse.

Si la tôle est en fer et de bonne qualité, elle peut donner lieu à des bosses d'une assez grande profondeur, sans se crevasser. La déformation se fait, en général, lentement, et le métal conserve toujours une certaine épaisseur.

Si la tôle est en fer et de qualité médiocre, elle se fend avec une grande facilité sous l'action de l'emboutissage.

Lors de l'explosion survenue le 5 septembre 1879, à Bordeaux, d'une chaudière composée de trois corps cylindriques reliés entre eux et ayant un réservoir commun, il a été reconnu que « le corps du milieu « a chauffé jusqu'à l'incandescence, le long de la génératrice la plus « basse ; la paroi a commencé par se dilater jusqu'à produire un « boursouflement énorme, puis elle s'est déchirée. »

Le mécanicien et deux chauffeurs ont été tués ; cinq voyageurs et deux chauffeurs ont été blessés plus ou moins grièvement.

Si la tôle est en acier, elle s'emboutit très facilement et se fend aussi très rapidement.

Sous les numéros 18 à 27, M. Cornut (1889) présente divers échantillons de bosses, crevassées ou non, suivant la qualité de la tôle ; et, sous le numéro 36, il cite le fait d'une tôle de coup de feu en acier ayant subi un emboutissage des plus remarquables par suite d'un dépôt d'incrustation au-dessus de la grille.

Une poche énorme s'est formée ayant comme flèche maxima 155 millimètres sans qu'aucune crique ne se produisît.

L'épaisseur primitive de 10 millimètres s'est réduite à 4 millimètres par suite de l'emboutissage.

Si le feu a été plus violent, la couche d'incrustations plus forte, ou si la tôle, soumise depuis longtemps à une surchauffe notable, a été déjà fendue ou fissurée, le coup de feu devient plus grave, la crevasse se change en déchirure.

Lorsque la tôle est ductile, de bonne qualité, ou quand la déchirure est arrêtée à temps par une partie saine ou une clouure solide, elle

n'affecte souvent qu'une faible longueur ; l'explosion est alors relativement bénigne.

Deux explosions survenues à Paris, dans des circonstances identiques, à quelques jours d'intervalle l'une de l'autre, la première à la Raffinerie Say, le 23 août 1886, la seconde à la Raffinerie Lebaudy, le 25 octobre suivant, se rapportant à des chaudières à bouilleurs, tout en faisant six victimes, n'ont déterminé que des déchirures de peu d'importance aux bouilleurs et n'ont causé que des dégâts matériels insignifiants. Principalement pour ces raisons, l'Ingénieur des Mines a conclu à un accident par manque d'eau.

M. S. Périssé, Ingénieur, membre de la Commission centrale des machines à vapeur, a étudié ces deux explosions en qualité d'expert judiciaire désigné par le tribunal civil de la Seine.

Dans le rapport qu'il a fait à leur sujet, il prouve que, contrairement à l'avis de l'Ingénieur des Mines, ces chaudières étaient abondamment pourvues d'eau et il donne à ces accidents une autre cause que nous examinons ailleurs.

Mais, à cette occasion, il prétend que, jusqu'à cette époque, on avait toujours cru qu'une chaudière pleine d'eau, se déchirant, devait produire nécessairement une explosion fulminante, et il cherche à démontrer le contraire.

Les calculs faits à cette occasion par M. Périssé sont fort intéressants, mais ses prémisses sont inexactes.

Il a toujours été admis qu'une explosion peut ne pas produire de dégâts importants, même lorsque la chaudière est bien garnie d'eau, si la déchirure ne se prolonge pas, une tôle de bonne qualité, une circonstance quelconque qui arrête la déchirure, atténuent les conséquences de l'explosion, et la puissance de cette explosion, calculée comme l'a fait M. Hirsch, d'après le travail développé dans la détente adiabatique, n'est réelle qu'autant que la déchirure s'est prolongée dans toute la masse et a rendu la force vive immédiatement et entièrement disponible.

L'appréciation donnée par M. Callon, Inspecteur général des Mines dans son *Cours de Machines*, est très explicite à cet égard.

« La rupture de la chaudière commencée d'une manière quelconque,
« dit-il, les conséquences de l'accident peuvent encore être très
« variables. *Quelquefois*, peut-être même peut-on dire *le plus souvent*,
« l'accident se borne à une fissure plus ou moins étendue, dont les
« lèvres entre-bâillées, formant une ouverture plus ou moins béante,
« donneront passage à un torrent d'eau chaude et de vapeur qui démo-

« lira quelques parois du fourneau ; la chaudière restera en place ou « sera légèrement dérangée de sa position, et l'accident sera terminé « lorsque l'écoulement s'arrêtera, sans qu'il y ait d'autres désordres « matériels ; la sécurité des hommes employés autour de la chaudière, « sera seule compromise. »

M. Périssé a été induit en erreur, très probablement par le rapport de l'Ingénieur des Mines qui a instruit ces explosions.

Nous pourrions citer de nombreux exemples d'accidents de cette nature, quelques-uns suffiront sans doute.

Notre relevé contient, sous le n° 4, l'explosion survenue, le 16 décembre 1881, dans la papeterie de Saint-Pantaléon (Corrèze), concernant une chaudière cylindrique horizontale à deux bouilleurs.

Le bouilleur de droite, fissuré depuis longtemps, s'est ouvert en pleine marche, sans explosion proprement dite, au tiers de la longueur du côté du foyer. Nous estimons même que l'Ingénieur des Mines qui a instruit cette explosion fait erreur en disant que la tôle était de qualité médiocre ; s'il en avait été ainsi, la déchirure se serait continuée.

Sous le n° 40, M. Cornut (1889) fait figurer l'explosion d'une chaudière qui n'a pas causé de dégâts quoiqu'elle fût pleine d'eau ; il la fait suivre des observations suivantes :

« Cette chaudière, marchant à une allure très calme, fait partie d'une « batterie de quatre générateurs du même type, dont trois seulement « étaient en pression. Les appareils de sûreté étaient en très bon état « et tous les renseignements recueillis pendant l'enquête ont tendu à « prouver que ce générateur ne manquait pas d'eau.

« Le jour de l'accident on n'avait rien remarqué d'anormal dans la « marche des générateurs, lorsque tout à coup, la tôle de coup de feu « du bouilleur de droite s'ouvrit sur toute sa longueur, arrachant une « partie de la rivure longitudinale de gauche. Le déchirement se fit « autour de cette rivure, et la partie de la tôle ouverte vint s'appliquer « sur le bouilleur de gauche ; sans cette circonstance heureuse, la pre- « mière virole du bouilleur de droite se serait probablement détachée « complètement. »

Citons encore l'explosion survenue le 2 février 1873, dans une fabrique de sucre à Muille-Villette (Somme) :

Une chaudière cylindrique à deux bouilleurs, d'une capacité de $17^{m3}125$, et de 65^{m2} de surface de chauffe s'est ouverte suivant une génératrice inférieure du corps cylindrique sur une longueur de $0^{m}70$, *en pleine marche* ; et, bien que la tôle fût affaiblie par un très long usage de vingt années, les dégâts matériels ont été insignifiants.

Enfin, si la tôle est de moins bonne qualité et si aucun obstacle ne l'arrête, la déchirure se prolonge, atteint la rivure voisine, suit généralement cette rivure jusqu'à la pince, et, de rivure en rivure, embrasse une grande partie de la chaudière.

Toute la force vive que contient le générateur étant, pour ainsi dire, immédiatement disponible, l'explosion devient formidable et ses conséquences sont désastreuses.

Personne n'ignore d'où viennent ces incrustations si redoutables !

L'eau d'alimentation contient, en suspension ou en dissolution, une certaine quantité de matières qu'elle abandonne en se vaporisant. Ces matières se prennent ordinairement en masses dures ou pierreuses qui se fixent sur les parois de la chaudière et y adhèrent fortement. Elles s'attachent, de préférence, aux parties rugueuses ou en relief. Aussi, lorsqu'on laisse, au fond de la chaudière, un objet quelconque, il devient le noyau d'un dépôt de matières, qui ne tarde pas à faciliter le coup de feu.

L'explosion d'une chaudière cylindrique à deux bouilleurs qui s'est produite, le 6 mai 1889, dans un tissage à la Gorgue (Nord), a été causée, dit le rapport officiel, « par l'emploi d'une matière solide, « filamenteuse, mélangée de matières inertes, qui, entraînée acciden- « tellement par la mise en jeu de l'appareil de vidange sous pression, « s'est accumulée sur la tôle du coup de feu du bouilleur de gauche, ce « qui en a déterminé la surchauffe et ensuite la rupture. »

Enfin, par suite des remous résultant du mouvement de l'eau et de la production de la vapeur, il se forme souvent, dans quelques parties toujours les mêmes, de certaines chaudières, des amas de matières composés d'écailles ou de parties incrustantes détachées des parois.

Dans une très intéressante étude sur les chaudières à flammes renversées qui a été lue dans le VII° Congrès des Ingénieurs en chef des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur, M. Cornut explique que la cause de certains accidents peut s'établir ainsi :

« L'eau d'alimentation, après avoir parcouru les deux bouilleurs, « arrive à la communication pour entrer dans le corps cylindrique, « chargée de sels calcaires en quantité assez considérable.

« A ce moment, il y aura une augmentation considérable de vitesse « du mélange et un changement de direction dans le courant d'eau, « qui doit passer d'une direction horizontale à une direction de 90°.

« Ces deux circonstances tendent à amener une séparation dans le « mélange d'eau et de calcaire suivant leur densité, et une partie du

« dépôt tombera en » un endroit déterminé, qui, s'il est soumis au contact des flammes, sera surchauffé et brûlé.

Il montre encore sous le n° 17 (1889) l'exemple d'une bosse survenue à la tôle du coup de feu d'une chaudière ordinaire à deux bouilleurs inférieurs, par suite d'un amas d'incrustations qui s'est déposé sur la tôle, au-dessus du foyer, sous le cuissard.

M. Périssé, Ingénieur, membre de la Commission centrale des machines à vapeur, fait à ce sujet les remarques suivantes :

« L'Inspection faite tout récemment (1888) à Montereau d'une chau« dière à bouilleurs de 6m80 de longueur, qui venait de marcher pen« dant 40 jours consécutifs avec de l'eau très calcaire. a démontré que « les dépôts venaient s'amasser sur la tôle du coup de feu, en avant du « premier cuissard, sur une longueur d'environ 50 centimètres ; en ce « point, les plaquettes de tartre étaient amoncelées dans des positions « qui se rapprochaient plus ou moins de la verticale, de sorte que « l'amas lamellaire se présentait comme des stalagmites ayant jusqu'à « 8 à 10 centimètres de hauteur.

« L'expérience a été faite deux fois et a donné deux fois le même « résultat.

« Les dépôts lamellaires s'étaient détachés du bouilleur au fond « duquel se faisait l'alimentation (une couche de goudron a aidé sans « doute à la production de ce phénomène) et ces dépôts ont été entraî« nés par le courant d'eau jusqu'à la tôle de coup de feu, et, arrivés en « un certain point, ils se sont arrêtés, sans doute parce que le courant « d'eau s'est lui-même arrêté ou beaucoup ralenti, devant ce flux mon« tant de l'eau vaporisée.

« Cette double expérience démontre bien qu'il y a un point de la « tôle du coup de feu où la vitesse de l'eau est pour ainsi dire nulle, « et où, par conséquent, le refroidissement de la face interne de la tôle « est à son minimum.

« Tout cela démontre que les tôles de coup de feu ne sont pas refroi« dies, à l'intérieur, autant qu'on le suppose généralement. »

Cette conclusion finale ne nous paraît pas rigoureusement déduite. La circulation de l'eau n'est pas indispensable pour que la tôle soit suffisamment rafraîchie par le liquide ; il suffit qu'il y ait contact et que le dégagement de la vapeur produite, ne soit pas contrarié. .

Les moyens préventifs des incrustations sont nombreux, les recettes plus nombreuses encore. Le cadre de cette étude ne peut permettre de les détailler, nous ne ferons donc que les passer rapidement en revue.

Du reste, comme la nature des incrustations n'est pas uniforme, il est difficile de donner une appréciation générale ; chaque cas particulier exige, au préalable, une étude attentive.

L'eau même qui dessert une usine n'a pas toujours la même composition, et les dosages d'épuration doivent continuellement varier.

Les méthodes diffèrent suivant que l'on agit avant ou après l'alimentation.

L'épuration *avant l'alimentation* paraît la plus rationnelle, mais elle exige ordinairement une installation coûteuse.

Nous distinguons :

L'épuration par distillation qui consiste à condenser la vapeur dans des appareils dits condenseurs à surface.

L'eau distillée, ainsi obtenue, est refoulée à la chaudière, après avoir été débarrassée des matières grasses par des dispositions appropriées à cet effet et dont nous parlerons plus loin.

La *condensation monhydrique*, consistant à condenser la vapeur, qui a été utilisée dans la machine, toujours avec la même eau de condensation, cette eau étant refroidie soit par celle de la mer ou des fleuves, s'il s'agit de bateaux, soit par l'air ambiant, pour les appareils sur terre.

L'*epuration par chauffage* repose sur ce fait que les carbonates et sulfates de chaux qui forment la majeure partie des incrustations ordinaires, sont très peu solubles sinon insolubles dans l'eau portée à plus de 150 degrés, température ordinaire des chaudières à vapeur.

Il suffit donc, suivant ce principe, de diriger l'eau d'alimentation, soit directement, soit après son passage aux réchauffeurs, dans un cylindre spécial en communication avec la réserve de vapeur qui le chauffe, et disposé de manière à pouvoir être facilement nettoyé.

L'*épuration préalable par procédés chimiques* s'obtient en ajoutant à l'eau devant servir à l'alimentation des substances chimiques qui forment, avec les sels en dissolution, d'autres sels insolubles, lesquels se déposent dans des réservoirs ou des récipients disposés *ad hoc*.

Les moyens employés *après l'alimentation* sont plus simples et d'un emploi plus facile ; nous allons les énumérer :

L'*extraction* consiste à extraire l'eau à mesure qu'elle vient à être saturée par rapport aux sels qu'elle contient. Cette opération se fait plus spécialement pour les eaux de la mer ; elle a lieu soit d'une façon continue, soit par intermittence, par un tuyau dit d'extraction, muni d'un simple robinet, ou par des pompes spéciales.

Pour les chaudières alimentées à l'eau douce, cette extraction présente moins d'intérêt; cependant la *vidange* des chaudières à des intervalles plus ou moins éloignés est souvent usitée.

Les *appareils à circulation* sont basés sur ce fait que les matières incrustantes, traitées ou non par des réactifs chimiques, suivant leur nature, restent pendant un certain temps en suspension dans l'eau et suivent les mouvements ascendants et descendants produits dans le liquide par l'échauffement et la vaporisation.

Des collecteurs, placés dans les endroits les plus convenables, captent les matières en circulation et les emprisonnent dans la chaudière même ou les rejettent au dehors.

On les extrait par des vidanges ou des nettoyages.

Les *matières introduites dans la chaudière* agissent soit chimiquement, soit mécaniquement.

Les premières, comme les acides, le sucre, la mélasse, etc., dissolvent les sels au fur et à mesure de leur précipitation, ou, comme la soude, le carbonate de soude, les tannins, les extraits de bois, etc., les décomposent en faisant de nouveaux sels non incrustants.

Les secondes, comme la pomme de terre, l'amidon, les matières résineuses, l'argile, etc., n'agissent que par leur présence; elles se mélangent avec la matière incrustante et forment un dépôt, plus considérable, il est vrai, mais moins adhérent et plus facile à détacher.

On a cherché aussi à diminuer cette adhérence, en tapissant la chaudière de certaines substances comme le goudron, le minium, le graphite, etc.; cependant, par suite de cette circonstance, les matières incrustantes, après avoir acquis une certaine épaisseur, se détachent quelquefois spontanément, s'accumulent sur la tôle du coup de feu et produisent un accident.

Le coke, le verre pilé, les débris d'acajou, etc. détruisent l'incrustation au fur et à mesure de sa formation, en exerçant un frottement continuel sur les tubes et les tôles constituant le générateur.

Les mouvements auxquels sont soumises les chaudières de locomotive suffisent pour diminuer l'adhérence des dépôts sur les tôles de ces chaudières.

Enfin, on a essayé certains procédés qui ont paru donner des résultats plus ou moins appréciables, sans qu'on ait bien encore expliqué leur action : nous citerons notamment l'emploi des rognures de zinc et de l'électricité.

Malgré tous ces procédés, on n'a pas encore obtenu un résultat indus-

triel complet, et on se trouve encore forcé d'avoir recours au nettoyage direct.

Ce nettoyage ou piquage se fait au moyen d'outils aciérés ou d'appareils divers, avec lesquels on frappe ou on râcle les matières adhérentes.

C'est pour faciliter cette opération qui fatigue la tôle que l'on emploie, comme nous l'avons dit, certaines substances agissant par leur interposition.

On utilise encore d'autres moyens, comme la projection d'eau froide sur les tôles encore chaudes, le chauffage des tôles à sec et l'attaque préalable des matières adhérentes, par l'acide.

Le premier procédé, appliqué aux locomotives de la Compagnie de Lyon, est ainsi décrit par MM. Richard et Baclé, dans leur *Manuel du Mécanicien* :

« La principale précaution à prendre pour le lavage d'une chaudière « consiste à empêcher qu'elle ne se refroidisse trop brusquement, sinon « on s'expose à imposer aux différentes parties de la chaudière des « efforts considérables, à cause de leurs contractions inégales...

« Après avoir enlevé les bouchons et les autoclaves de la chaudière, « on y injecte de l'eau sous pression, au moyen de lances droites ou « courbes, dans toutes les directions, en même temps que l'on gratte les « tubes, le foyer et les parois, au moyen d'un racloir en acier fixé au « bout d'une longue tige en cuivre, assez souple pour pénétrer jus- « qu'aux endroits les plus reculés. Il est bon que la tige du grattoir soit « en cuivre, pour ne pas abîmer, par son frottement, les pas de vis des « bouchons. On commence ordinairement le lavage par le ciel du foyer; « on lance ensuite de l'eau autour du foyer, par chacun des bouchons « de lavage ; on passe enfin aux tubes, en ramenant tous les dépôts « vers les autoclaves ou vers le gros trou de vidange, au bas du corps « cylindrique.

« Le lavage ne doit être terminé que quand l'eau de la chaudière est « parfaitement claire. Il faut au moins deux hommes pour laver conve- « nablement une chaudière. »

M. Cornut n'en est pas partisan.

« Il faut absolument proscrire, dit-il, la méthode que nous avons vu « employer une fois, qui consiste à projeter de l'eau froide dans le « générateur, après qu'on a vidé l'eau et la vapeur qu'il contenait. »

Le chauffage des tôles à sec est recommandé par Bataille, dans son *Traité des Machines à vapeur* ; il en décrit ainsi les avantages et les inconvénients :

« Le meilleur moyen de débarrasser les chaudières des dépôts qui

« ont pu s'attacher contre leurs parois, est de faire brûler vivement une « certaine quantité de copeaux dans les fourneaux et les carneaux, après « qu'on a vidé toute l'eau des générateurs.

« La dilatation rapide du métal, qui se produit alors, fait craquer les « couches de sédiments ; et, si l'on nettoie ensuite l'intérieur des car- « neaux en les lavant avec soin, les dépôts tombent au fond de la chau- « dière et sont ensuite entraînés par l'eau, dès qu'on ouvre les robi- « nets de décharge.

« Ce procédé de nettoyage des générateurs est un de ceux qui doit « être exécuté par les mécaniciens eux-mêmes, et non par l'entremise « des chauffeurs ou d'autres ouvriers subalternes.

« En effet, le métal de la chaudière peut être très aisément endom- « magé, si la chaleur produite par l'inflammation subite d'une masse « de copeaux est par trop forte. »

Pour le dernier procédé, on introduit dans la chaudière, avant sa vidange, une certaine quantité d'acide chlorydrique qu'on laisse digérer, pendant un ou plusieurs jours, suivant les cas. On vidange alors, on nettoie ensuite et on termine par un lavage soigné.

Cependant ce procédé, qui peut faciliter l'enlèvement des matières quand leur épaisseur est faible, paraît au contraire être un obstacle à cet enlèvement lorsque la couche est épaisse, car l'acide, au lieu de dissoudre l'incrustation, en ramollit seulement la surface et rend le piquage plus difficile.

Dans tous les cas, pour que ces nettoyages puissent être convenablement effectués, il faut que l'appareil soit accessible dans toutes ses parties. Si la chaudière cylindrique ordinaire ou à bouilleurs offre cet avantage, et c'est sa grande qualité, bien peu d'autres types lui sont comparables à cet égard. Les chaudières tubulaires, notamment, sont d'un accès intérieur peu commode quand il est seulement possible.

C'est dans le but d'en faciliter le nettoyage qu'on a créé des types à parties amovibles et qu'on a imaginé des systèmes à tubes mobiles ou démontables. Nous en parlerons plus loin.

La quantité de moyens employés montre qu'aucun d'eux n'a donné la solution complète du problème ; cependant, il faut le reconnaître, chaque méthode a produit des résultats partiels satisfaisants.

S'il n'est guère possible, avec les connaissances que l'on possède actuellement sur ce sujet, d'avoir une chaudière exempte d'incrustations, on peut cependant, avec des soins, de l'attention et avec l'emploi d'un générateur approprié aux éléments dont on dispose, éviter toute surchauffe qui pourrait donner lieu à une explosion.

MATIÈRES GRASSES

Les graisses et les huiles employées à la lubrification des machines sont entraînées mécaniquement par la vapeur d'échappement et mélangées, le plus souvent, avec les eaux d'alimentation.

Ces matières graisseuses s'unissent aux sels calcaires et forment avec eux une sorte de savon qui, soit en masse, soit sous forme de poudre, produit plusieurs effets nuisibles pouvant devenir fort dangereux.

A l'état de poudres graisseuses, ces matières flottent à la surface du liquide, deviennent émulsionnantes et engendrent des entraînements d'eau.

Ces poudres s'attachent aussi aux tubes vaporisateurs et aux parois de la chaudière.

A l'état de savon calcaire, plus ou moins mélangé de résidus graisseux, ces matières se déposent sur les tôles du générateur, à la façon des incrustations ordinaires.

« Ces résidus, dit M. Cornut, sont, en général, la cause de graves « désordres facilitant la surchauffe des tôles et occasionnant de nom- « breuses fuites aux rivures ; des cassures ; etc. »

L'explosion d'une chaudière cylindrique à deux bouilleurs survenue, le 29 janvier 1881, dans une fabrique de bougies, à Gentilly, en est un terrible exemple.

Cette explosion, dit le rapport officiel, est due à « l'invasion inusitée « d'acides gras mélangés à l'eau d'alimentation, à la suite de la rupture « d'un serpentin de distillation des acides.

« Unis aux sels calcaires de l'eau de Seine, ils ont formé un dépôt « épais qui a permis à la tôle de rougir et de céder à la pression de « marche. »

La chaudière se souleva et retomba perpendiculairement à sa position primitive. Le bouilleur de gauche était déchiré et la tôle développée.

Deux hommes ont été tués, et un blessé. Les dégâts matériels ont été considérables.

Dans une note de M. Vivien, présentée à l'Académie des Sciences, l'auteur conteste la formation de ces savons calcaires.

« La quantité de corps gras englobés ou combinés dans ces dépôts, « dit-il, est (souvent) nulle. Leur toucher onctueux fait croire à la « présence d'un savon, mais ils n'ont nullement la composition chimique « de ces corps.

« La formation de ces mousses et dépôts particuliers qui ne mouillent

« pas à l'eau est due à la nature des eaux employées et non à la pré-
« sence de corps gras.

« D'ailleurs..... bien avant que la tôle rougisse, ce corps gras ne « serait-il pas décomposé et le dépôt modifié, ce qui permettrait à l'eau « de mouiller la tôle avant qu'elle s'affaiblisse. »

Sans doute le nom de savon peut être impropre, comme l'a déjà fait remarquer M. Cornut, et nous appelons nous-même ces dépôts « une sorte de savon plus ou moins mélangé de résidus graisseux. »

Cependant M. Cornut (1878) cite, sous le n° 6201, un dépôt graisseux enlevé à l'intérieur d'une petite chaudière verticale, qui contenait, d'après l'analyse, 42,5 0/0 de matières grasses ; il cite encore, sous le n° 6011, une poudre trouvée dans les bouilleurs inférieurs d'une chaudière semi tubulaire dont il donne la composition chimique par 100 kilogr. :

Carbonate de chaux.	66 kil. 002
Carbonate de magnésie.	8 — 425
Sulfate de chaux.	9 — 520
Corps gras combiné à la chaux. . . .	8 — 920
Fer et alumine.	2 — 570
Silice.	2 — 350
Eau.	2 — 213
	100 kil. 000

Le nom de savon calcaire est donc applicable ici.

D'autre part, les expériences de M. Hirsch, que nous relatons plus loin, détruisent la supposition de M. Vivien, puisque l'une de ces expériences a consisté, précisément, à décomposer d'abord la matière grasse qui s'est transformée en un enduit noirâtre auquel l'eau n'adhérait pas, et c'est après cette préparation que le récipient garni d'eau et placé sur le feu ne se laissait pas mouiller par l'eau.

Enfin, si personne n'ignore qu'il peut se former dans les chaudières des mousses onctueuses qui ne mouillent pas à l'eau, cela n'exclut pas l'existence d'autres poudres graisseuses, et l'exemple suivant ne laisse aucun doute à cet égard :

Une Compagnie anglaise avait, il y a plusieurs années, pris l'entreprise de la traction mécanique de la ligne de tramways de Paris à Charenton.

Les locomotives, assurant cette traction, fonctionnaient à condensation et l'eau condensée alimentait les chaudières.

Après quelque temps de marche, tous les tubes fuyaient ; les plaques

tubulaires se déformaient, et les chaudières se disloquaient, toutes, de la même façon.

Chargé du contrôle administratif de ces machines, nous avions fait, nous-même, l'épreuve des chaudières neuves, bien construites et paraissant bien solides.

Néanmoins, après ces accidents, des consolidations furent entreprises et les tubes mandrinés. Les fuites continuèrent. Les avaries devinrent telles que le service fut arrêté très rapidement.

Une chaudière fut démontée, et on put alors constater que les tubes étaient chargés d'une mince couche de matières graisseuses, non mouillées par l'eau, qui avaient provoqué la surchauffe.

Bien que nous ne connaissions pas l'analyse de ces dépôts, nous sommes certain que non seulement ils se dissolvaient en partie dans l'éther, mais encore qu'ils contenaient des résidus graisseux en assez grande abondance pour brûler avec l'odeur âcre bien connue d'acroléine ; nous en avons fait, nous-même, l'expérience.

Ces matières provenaient évidemment des huiles employées pour la lubrification des machines et consommées avec d'autant plus d'abondance que ces machines étaient plus neuves et la voie plus défectueuse.

Ce fait caractéristique peut servir de préliminaire aux remarquables expériences de M. Hirsch, qui jettent un jour tout nouveau sur la surchauffe des tôles et sur les explosions qui en sont la conséquence.

Il a constaté, en effet, que les parois métalliques l'un récipient, renfermant de l'eau, ne sont pas mouillées par le liquide, lorsqu'elles sont enduites d'un corps gras, et que, sous l'influence d'une source de chaleur, elles peuvent atteindre des températures très élevées. Il a pu porter, dans ces conditions, le fond du récipient à l'incandescence.

Toutes les personnes que les explosions intéressent ont lu ou voudront lire la relation de ces expériences qui, ainsi que le rapport fait à ce sujet, ont été insérées dans les *Annales des Arts et Métiers*. Nous en extrayons le passage suivant :

« Une casserole, étamée et bien propre, fut graissée à l'oléonaphte,
« puis chauffée, sans eau, sur un feu doux de manière à décomposer
« la matière grasse ; le fond se trouva ainsi couvert d'un enduit noi-
« râtre, auquel l'eau n'adhérait pas. La casserole, ainsi préparée, fut
« disposée sur le fourneau à la place de la chaudière d'expérience, et
« l'on donna le feu. Au bout d'un instant d'ébullition, on vit le fond
« devenir rouge ; la tache incandescente, limitée d'abord en un point,

« ne tarda pas à s'étendre et à occuper toute la partie du fond correspondant à l'embouchure du fourneau. Si la partie grasse de la paroi « n'a qu'une étendue limitée, l'incandescence se manifeste tout d'abord « dans cette partie, mais elle gagne peu à peu et s'étend tout autour, « de proche en proche, à toute la partie exposée à la flamme.

« Il est évident que, dans ces expériences, le fond n'était plus « mouillé, que l'eau était à cet état que M. Boutigny a désigné sous le « nom de *sphéroïdal*.

« C'est un spectacle fort intéressant que de voir, à travers l'eau en « ébullition, le fond d'une chaudière porté à la température rouge. « Inutile d'ajouter que l'étain était fondu et que le fond de la casserole en « dedans comme en dehors, présentait toutes les apparences d'un « magnifique coup de feu.

« Cette expérience a été renouvelée plusieurs fois avec des intensités « de feu variables : avec un feu correspondant à une vaporisation « d'environ 270 kilogr. par mètre carré et par heure, la couleur du « fond était l'orangé vif ; mais l'effet s'est produit même avec un feu « beaucoup plus modéré, correspondant à environ 150 kilogr., auquel « cas le fond était couleur cerise sombre. »

M. Hirsch a formulé les constatations qu'il a faites au sujet de ces corps gras, par les deux lois suivantes :

1° « Tout enduit gras, déposé sur la paroi interne de la tôle gêne « fortement la transmission de la chaleur ;

2° « Lorsque l'enduit gras est constitué par un corps susceptible de « se décomposer par la chaleur, le coup de feu est particulièrement « à redouter. Les corps gras organiques, huiles de lin, de colza, etc., « semblent, à cet égard, beaucoup plus dangereux que les corps gras « minéraux. »

Nous estimons que ces lois ont une importance des plus grandes, et qu'elles devraient être portées à la connaissance de tous ceux qui font usage d'appareils à vapeur.

Ainsi, tous les phénomènes que nous avons étudiés, résultant des incrustations, se reproduisent de la même manière et avec la même énergie, lorsque les tôles sont enduites d'un corps gras, même en minime quantité ; c'est-à-dire qu'une couche, même faible, d'incrustation graisseuse ou de savon calcaire peut provoquer un coup de feu et produire une explosion.

Bien qu'on n'ait pas, jusqu'ici, attaché à l'action des résidus graisseux l'importance qu'elle a réellement, cependant les inconvénients de ces matières avaient déjà, en partie du moins, été constatés.

M. Cornut (1889) montre, sous le n° 44, un exemple remarquable d'avaries survenues pour cette cause au bouilleur d'une chaudière semi tubulaire. Il l'accompagne de l'observation suivante :

« Un jour on constata l'existence d'une bosse fendue produite par « l'aplatissement du bouilleur sur le support. Le bouilleur était cintré. « On retira sur la tôle du coup de feu des dépôts gras de 20 millimètres « environ d'épaisseur. On mit une pièce. Quinze jours plus tard, une « autre bosse fendue se manifesta, due également à la présence de « dépôts gras.

« Nouvelle réparation suivie d'une nouvelle fuite à la pièce. On « remplace cette pièce par une autre, et le même phénomène se « reproduit. On trouve chaque fois des dépôts gras.

« On dut alors sortir le bouilleur.

« Il présentait des traces de surchauffe et était très infléchi vers « l'avant.

« On remplaça le bouilleur, on changea la manière d'alimenter en « envoyant l'eau directement au générateur sans passer dans la bâche « de condensation et les fuites cessèrent. »

Sous le n° 84, il montre un autre échantillon de la tôle à feu d'une chaudière cylindrique à deux bouilleurs surchauffée par la présence des matières grasses. Cette tôle est ondulée et porte trois cassures circulaires en pleine tôle.

Plusieurs moyens préservatifs ont été indiqués.

M. Cornut a vu employer, pour s'en débarrasser dans la mesure du possible, le procédé qui consiste à retenir les graisses par le pétrole.

On a proposé aussi de faire passer les eaux grasses à travers des débris de coke mélangés de sciure de bois.

Enfin on emploie, d'après M. Walther-Meunier, des bâches avec plusieurs cloisons perforées. Dans les premières, l'eau bouillonne et la graisse est plus ou moins mélangée au liquide, mais dans les dernières elle est à l'état de repos complet ; on peut donc faire évacuer l'huile par la partie supérieure et prendre l'eau d'alimentation à 20 ou 30 centimètres en dessous.

Quelle que soit la méthode employée, la solution nous paraît facile ; l'important serait d'attirer l'attention des industriels sur la gravité de cette question.

Il est prudent, dans tous les cas, de faire usage, pour lubrifier les machines, de corps gras minéraux plutôt que de ceux de nature organique.

MANQUE D'EAU

Les conséquences du ***manque d'eau*** dépendent de certains phénomènes que nous devons rappeler :

1° La vapeur d'eau, comme tous les gaz, est très peu conductrice de la chaleur. On peut donc admettre pratiquement que la température d'une tôle soumise par l'une de ses faces à une source de chaleur, et en contact par l'autre face avec l'air ou la vapeur d'eau, s'élèvera progressivement jusqu'à atteindre celle de la source calorifique.

Cette loi cesse d'être exacte lorsqu'une partie du métal plonge dans un liquide rafraîchissant et aussi lorsque la tôle est recouverte de substances mauvaises conductrices de la chaleur, comme les suies et les cendres;

2° Un mélange d'air et de vapeur d'eau oxyde le fer à la température ordinaire; et cette action oxydante augmente avec la température. Quand la chaleur a atteint un certain degré, la vapeur d'eau est elle-même décomposée par le fer qui s'oxyde alors très rapidement;

3° La température des gaz chauds diminue au fur et à mesure de l'absorption de leur chaleur par la chaudière. Lorsque ces gaz ont chauffé une surface égale à vingt fois celle de la grille, on peut être certain qu'ils ne peuvent plus avoir d'action nuisible sur le métal; mais, dans la plupart des cas, ce rapport doit être sensiblement diminué;

4° Les tôles en vue du foyer sont soumises non seulement à la chaleur sensible des flammes et des gaz chauds, mais encore à la chaleur rayonnante du combustible en ignition qui s'ajoute à la première. La quantité de calorique absorbée par ces tôles est fonction inverse de leur distance à la grille et de leur inclinaison.

Le manque d'eau peut être partiel ou total.

Le ***manque d'eau partiel*** est produit pour plusieurs raisons que nous allons examiner :

Dans quelques générateurs, il existe des ***chambres de vapeur permanentes*** provenant, soit de l'inclinaison des bouilleurs, soit de la superposition mal établie des tôles, soit enfin d'une conception vicieuse : certains types de chaudières verticales à foyer intérieur, par exemple, en possèdent d'assez grandes.

Ces chambres contiennent même de l'air humide : les bouilleurs-réchauffeurs et le bout des bouilleurs inclinés des chaudières à flammes renversées sont particulièrement sujets à cet inconvénient.

M. Cornut (1889) présente, sous les nos 71, 72 et 180, plusieurs échantillons remarquables de fentes et de corrosions causées par ces cantonnements de vapeur ou d'air humide.

Dans beaucoup de cas, l'exiguïté des parties qui servent au dégagement de la vapeur a pour conséquence d'établir, en certains points, des *amas de vapeur*. Nous allons en donner quelques exemples.

Pour les *chaudières à bouilleurs*, les cuissards sont généralement insuffisants, la partie supérieure des bouilleurs est alors presque toujours garnie d'un matelas de vapeur sur toute sa longueur.

Dans les *chaudières verticales à foyer intérieur*, les bouilleurs horizontaux sont dans le même cas.

Cette circonstance a causé l'explosion d'une semblable chaudière, le 18 avril 1889, dans une brasserie de Sailly (Nord).

Souvent aussi la distance entre la tôle du foyer et l'enveloppe extérieure est trop faible ; elle se charge alors de vapeur surtout vers l'orifice de dégagement ; en outre, les cheminées intérieures et les tubes verticaux sont en partie immergés dans la vapeur.

Pour les chaudières *cylindriques verticales*, chauffées par les flammes perdues des foyers métallurgiques, la vapeur produite, en abondance, sur les tôles à feu, longe la paroi verticale et se forme, par conséquent, en amas, vers ce point.

Dans les *chaudières tubulaires*, l'écartement des tubes est souvent trop faible et plusieurs d'entre eux, notamment ceux des parties supérieures, sont fréquemment plongés, en partie ou en totalité, dans la vapeur.

La surchauffe est d'autant plus forte, dans ce cas, que les tubes sont plus recouverts d'incrustations ; non seulement ces matières facilitent la surchauffe, par suite de leur mauvaise conductibilité, mais encore, par leur interposition, elles diminuent la réserve entre les tubes et augmentent, par conséquent, l'amas de vapeur.

Il arrive même quelquefois que cette réserve est complètement obstruée : M. Cornut (1889) en montre, sous le n° 263, un très curieux exemple.

Dans les *chaudières horizontales à foyer intérieur*, les parties avoisinant les génératrices moyennes du demi-cylindre supérieur sont exposées au même inconvénient.

« La vapeur produite en quantité très abondante autour du foyer, « dit M. Bour, forme, contre la tôle, un courant qui empêche celle-ci « d'être rafraîchie par l'eau. Le surchauffement amène une déforma- « tion. »

Cette déformation se fait graduellement ; M. Cornut (1878) en cite sous le n° 143 un exemple remarquable consistant en une double poche symétrique affectant les parois latérales du foyer. Il montre les positions successives prises par la tôle au fur et à mesure de sa déformation ; mais il attribue ces avaries au manque de nettoyage. Nous pensons que, s'il en était ainsi, au lieu d'une déformation latérale, il se produirait un affaissement de la partie supérieure du foyer.

Il est rare que les *générateurs multitubulaires* aient des dégagements suffisants de vapeur. Les tubes bouilleurs en contiennent toujours une quantité notable ; parfois même ils sont complètement privés d'eau.

Les explosions qui en résultent sont nombreuses ; les suivantes sont une partie de celles qui ont été signalées pour l'année 1889 :

L'explosion survenue le 1er septembre 1889, au dépôt des Tramways de Saint-Fons (Rhône), à une chaudière multitubulaire type Babcock et Wilcox, est due à la rupture d'un des tubes vaporisateurs, sans cause connue, dit le rapport officiel.

Le chauffeur a été brûlé.

La déchirure commençait à 0m83 de l'emmanchement antérieur du tube ; elle était donc située au-dessus de la grille.

Sur les lèvres du bâillement l'épaisseur du métal était réduite de 4 à 3 millimètres.

Une explosion semblable d'une chaudière multitubulaire Belleville est survenue le 18 novembre 1889, dans une imprimerie de Tours ; le chauffeur et l'aide-mécanicien ont été brûlés.

C'est dans les mêmes circonstances qu'a eu lieu l'explosion d'une chaudière multitubulaire de Naeyer, survenue le 2 décembre 1889, dans une usine d'éclairage électrique, à Rouen.

Pareil accident est arrivé à une chaudière multitubulaire Mignon et Rouart, le 16 décembre 1889, à Montluçon. Deux hommes ont été brûlés par l'eau et la vapeur.

C'est au manque de dégagement de la vapeur engendrée qu'il faut attribuer les accidents survenus aux foyers Tenbrinck, aux grilles à barreaux de circulation et aux appareils tubulaires qu'on a utilisés pour le brassage des gaz dans le foyer.

L'explosion d'une chaudière à foyer intérieur survenue le 10 octobre 1879 au bâteau « Parisien n° 2 », sur le lac du Bourget, peut être citée comme exemple :

« Dans le foyer, dit le rapport officiel, est disposé un appareil fumi-

« vore tubulaire composé de deux tubes en tôle de fer de 175 milli-
« mètres de diamètre reliés par 10 tubes de 18 millimètres de diamètre
« constituant une sorte de grille que les flammes doivent traverser.

« Le tube collecteur du haut s'est fendu à l'une de ses extrémités et
« le tampon qui le fermait a été projeté dans le foyer ; le mécanicien et
« le chauffeur ont été plus ou moins brûlés. »

Cet accident a été produit par la « disposition défectueuse du système
« formé de tubes placés au fond du foyer intérieur, exposés à un coup
« de feu permanent et ne laissant pas l'eau circuler assez facile-
« ment. »

Dans les tubes bouilleurs verticaux même, si la circulation de l'eau n'est pas facilitée par l'adjonction d'organes spéciaux ou de dispositions appropriées, ces tubes se remplissent complètement de vapeur lorsqu'ils sont soumis à l'action d'un feu ardent.

C'est à cette cause qu'il faut attribuer l'explosion d'un tube vertical à eau, fixé sur la paroi d'une chaudière cylindrique verticale aux forges du Creusot, survenue le 27 janvier 1886, et qui figure, sous le n° 36, dans notre relevé.

Ce tube s'est rompu à la partie inférieure coudée et corrodée par suite d'amas de vapeur produisant un manque d'eau partiel.

Enfin, l'abaissement anormal du niveau de l'eau peut mettre à nu les parties du générateur avoisinant ce niveau.

Le *manque d'eau total* est dû la plupart du temps à des causes analogues.

Ainsi que nous venons de le dire, des tubes de fumée, des tubes à eau peuvent être complètement privés d'un contact liquide.

Les surchauffeurs de vapeur ne contiennent jamais d'eau.

L'obstruction des communications intérieures par des amas de matières est quelquefois un obstacle à l'alimentation de certaines parties, spécialement des tubes des chaudières multitubulaires qui, alors, se remplissent entièrement de vapeur.

Lors de l'explosion d'une chaudière multitubulaire Belleville, survenue dans une raffinerie de Paris, le 29 juin 1883, et qui a blessé un ouvrier, il a été constaté qu'une boîte de jonction avait été obstruée
« par des dépôts qui s'y sont accumulés et ont arrêté l'alimentation dans
« les tubes situés au-dessus de la boîte obstruée. »

Le 4 mars 1889, une chaudière multitubulaire du type Collet a fait explosion dans une fabrique de pâtes alimentaires à Paris.

Un des tubes inférieurs s'est ouvert, le chauffeur a été brûlé.

10

L'accident provient d'une « surchauffe locale ; cette surchauffe, dit le « rapport officiel, a été vraisemblablement la conséquence d'une dimi- « nution accidentelle et locale dans l'arrivée de l'eau provenant peut-être « de la présence d'un paquet de filasse qui aurait entravé la circulation à « l'intérieur du tube. »

L'explosion survenue le 4 novembre 1889, dans une fabrique de couleurs à Issy, d'une chaudière multitubulaire du type Uhler, est due à une « surchauffe résultant de l'entrave apportée à la circulation dans « les tubes bouilleurs inférieurs par l'introduction imprudente d'une « quantité de désincrustant solide absolument hors de proportion avec « les formes et la capacité du générateur. »

On avait chargé, avant lamise en feu, 50 kilogr. de pommes de terre comme désincrustant.

Pareil accident survenu à une chaudière multitubulaire, type Terme et Deharbe, le 29 novembre 1889, dans une usine de broyage, à Clichy, a causé la mort du mécanicien. Il provient de la « surchauffe locale du « tube qui s'est crevé, et cette surchauffe a été elle-même la conséquence « de l'entrave apportée à la circulation des fluides par des paquets de « bois de Campêche qui s'étaient accumulés dans certaines parties du « générateur ».

L'abaissement anormal du niveau de l'eau, dont nous étudierons plus loin les causes, peut aussi priver complètement d'eau le générateur

Les conséquences du manque d'eau varient suivant qu'il est périodique, permanent ou accidentel.

Le *manque d'eau périodique* est dû au défaut de dégagement, formant des amas de vapeur, comme nous venons de l'expliquer.

La production de la vapeur n'est pas, en effet, constante ; elle varie suivant l'intensité du chauffage qui est lui-même forcément périodique et suivant les besoins qui sont souvent peu réguliers.

Dans les chaudières placées à bord des bateaux, les mouvements de tangage engendrent des manques d'eau périodiques en découvrant alternativement certaines parties vaporisatrices, les tubes notamment.

Les parties des chaudières plongées alternativement dans l'eau et dans la vapeur peuvent rarement atteindre la température des gaz qui les chauffent ; même soumises à des feux violents, elles ne sont pas sujettes aux graves déformations dont nous parlerons plus loin, mais elles se fendent, se fissurent, se corrodent en s'oxydant et sont réduites souvent à une épaisseur des plus minimes.

Les tubes à eau ou de fumée, les parties supérieures des bouilleurs

situées près de l'autel, vers le premier cuissard, le cuissard lui-même, les parois latérales supérieures des foyers métalliques verticaux, ainsi que les tôles à feu des chaudières verticales chauffées par les foyers métallurgiques, sont particulièrement sujets à ces avaries.

M. Cornut (1889) fait figurer, sous le n° 75, une tôle d'acier formant la première demi-virole supérieure d'un bouilleur de chaudière semi-tubulaire qui porte, près de la communication, une cassure en pleine tôle produite par une surchauffe de cette nature. Sous le n° 188, il montre l'exemple d'une corrosion intérieure affectant le cuissard lui-même.

Le n° 83 présente des cassures nombreuses : « Il n'y avait à chaque « bouilleur, dit-il, qu'une seule communication sur la première demi- « virole supérieure. Une pente notable vers l'avant, le corps cylindrique « et les bouilleurs chauffés dans un carneau unique, les deux réchauf- « feurs placés à droite, de sorte que le courant des gaz chauds chauffait « surtout le haut du bouilleur de droite, toutes les conditions, en un « mot, étaient réunies pour déterminer une surchauffe de la tôle du ciel « de bouilleur. Une cassure circulaire étendue s'est produite en pleine « tôle, accompagnée d'un commencement de bosse, déterminée par la « surchauffe. »

Lors de l'explosion d'une chaudière cylindrique à deux bouilleurs, survenue le 9 mai 1886, à Marseille, le bouilleur s'est déchiré à sa partie supérieure, au voisinage du premier cuissard.

C'est à la corrosion produite par le manque d'eau périodique vers le premier cuissard, qu'il faut attribuer l'explosion d'une chaudière semi-tubulaire à deux bouilleurs, survenue le 7 août 1884, dans une filature de Lille. « Le bouilleur de droite, dit le rapport officiel, s'est violem- « ment séparé du corps tubulaire. Deux des viroles ont été lancées, les « autres se sont développées sur place. Un ouvrier a été tué sur le « coup, un autre est mort des suites de ses blessures. »

L'explosion d'une chaudière verticale à foyer intérieur, survenue le 12 mai 1879, dans une distillerie, à Paris, a eu pour cause reconnue l'amincissement considérable de la paroi, particulièrement aux deux circonférences de joint avec le ciel du foyer et avec la base de la chaudière.

L'épaisseur, le long de la déchirure inférieure, varie de 3 1/2 à 4 millimètres ; le long de la déchirure supérieure, elle descend en quelques endroits à 2 millimètres, alors que l'épaisseur primitive était de 8 millimètres.

Donnons, ici, un pieux souvenir à la mémoire de M. Chabat, notre

beau-père, qui a instruit cette explosion et qui a succombé six jours après, victime de son dévouement administratif.

Les rapports officiels ont toujours donné, comme cause de la rupture des tubes, l'abaissement anormal du niveau de l'eau ; il y a parfois erreur évidente.

Prenons pour exemple la rupture de dix tubes de trois rangées supérieures d'une chaudière de bateau, survenue le 9 juin 1879, à Paris, mentionnée au n° 32 de notre relevé.

Si cette rupture avait eu pour cause l'abaissement anormal du niveau de l'eau, ainsi que l'Ingénieur des Mines l'a prétendu, tous les tubes de la première rangée auraient cédé d'abord, comme cela a eu lieu, lors d'une explosion par défaut d'alimentation, survenue à Paris, le 15 septembre 1881 dans laquelle « les six tubes de laiton de la rangée supé-« rieure, dit le rapport officiel, se sont plus ou moins gondolés et défor-« més vers leur extrémité postérieure par laquelle ils reçoivent les gaz « chauds. »

Dans le cas actuel il n'en a pas été de même, et le chauffeur, qui n'a succombé que plusieurs jours après l'accident, a toujours soutenu que sa chaudière était suffisamment munie d'eau.

Il faut attribuer l'accident aux amas de vapeur produisant des manques d'eau périodiques qui ont, à la longue, détérioré et affaibli par conséquent un certain nombre de tubes. Le mouvement violent de l'eau produit lors de la rupture de l'un de ces tubes a amené le bris de tous ceux dont la solidité était devenue insuffisante.

C'est dans les rangées supérieures que ces tubes souffrent le plus, parce que c'est là que les amas de vapeur sont les plus considérables; surtout lorsque les tubes sont établis en quinconce.

C'est aussi à cette cause qu'il faut attribuer l'usure plus grande des tubes à l'entrée des flammes dans leur intérieur ; c'est en effet à ce point qu'ont lieu les plus nombreuses ruptures, comme le montre du reste l'accident du 15 septembre 1881, ci-dessus signalé. Les conséquences du manque d'eau périodique sont ici beaucoup aggravées par l'intensité de la chaleur, plus forte, évidemment, à l'entrée des flammes dans les tubes qu'en tout autre de leurs points. On a constaté, en effet, à la suite de l'explosion d'une chaudière tubulaire, genre locomobile, survenue le 30 décembre 1871, à Nantes, par suite de la rupture d'un des tubes qui s'est rompu à quelques centimètres de la bague, près de la plaque tubulaire, que l'épaisseur de ce tube avait été réduite à demi millimètre, sans qu'aucun indice ait pu le faire connaître.

C'est pour cette raison qu'« on est souvent obligé, disent MM. Richard

« et Baclé, de remplacer cette partie du tube par un *raboutage* en fer « ou en cuivre, soudé sur le reste du tube. »

Le 23 février 1879, dans une teinturerie de Reims, un tube en laiton s'est nettement rompu et six autres ont été fortement aplatis. L'enquête ayant montré que le niveau n'avait pas baissé par suite d'un défaut d'alimentation, l'Ingénieur des Mines a donné comme *inconnue* la cause de cet accident qui paraît au contraire toute naturelle à la suite de nos explications.

Sous le n° 258, M. Cornut (1889) montre l'échantillon d'un tube d'une chaudière semi tubulaire usé, dit-il, au passage de la vapeur. C'est bien plutôt à la corrosion résultant d'un manque d'eau périodique qu'à l'usure mécanique produite par la vapeur qu'il faut attribuer l'avarie signalée.

Le *manque d'eau permanent* a, la plupart du temps, les mêmes conséquences que le manque d'eau périodique ; si ces conséquences ne sont pas immédiatement plus apparentes, c'est que les parties sujettes à cet inconvénient ne sont soumises qu'au manque d'eau partiel ; leurs parois intérieures étant, grâce à leur position, peu chargées d'incrustations, elles restent suffisamment conductrices de la chaleur et se trouvent rafraîchies par le liquide situé à faible distance. En outre, elles sont rarement en vue des flammes et toujours recouvertes d'une certaine quantité de cendres qui s'opposent à l'absorption de la trop grande chaleur ou, tout au moins, assurent un équilibre moyen de température.

Les surchauffeurs de vapeur ne sont soumis à l'action des gaz chauds que lorsque ces gaz ont été, en partie du moins, usés par les autres éléments de la chaudière. La température n'est pas, le plus souvent, suffisante pour déformer ces surchauffeurs, mais elle est quelquefois assez forte pour décomposer la vapeur d'eau, d'où résulte une oxydation rapide du métal et une rupture inévitable.

L'explosion survenue le 25 novembre 1884, au théâtre de l'Ambigu, à Paris, a été causée par la rupture de l'un des tubes surchauffeurs ; elle a grièvement brûlé le mécanicien. C'est à « l'ardeur excessive avec « laquelle le feu paraît avoir été poussé », dit le rapport officiel, qu'il faut attribuer cette explosion.

Notre relevé donne des détails sur quatre explosions de ces surchauffeurs ; elles sont classées sous les numéros 18, 33, 34 et 35.

Si les conséquences du manque d'eau périodique ou permanent ne sont pas immédiatement très sensibles, elles n'en sont pas moins graves, et elles le sont d'autant plus que l'explosion s'impose précisément par suite de la permanence ou de la périodicité de la cause.

C'est au manque d'eau périodique qu'il faut attribuer les nombreuses et importantes avaries produites aux chaudières verticales chauffées par les foyers métallurgiques qui ont causé les si graves accidents de Clairvaux, de Commentry, de Marnaval, d'Eurville, etc.

Avant de parler du manque d'eau accidentel et total, nous croyons devoir déclarer que le phénomène désigné sous le nom de caléfaction ou état sphéroïdal, tel qu'il est défini par Dumas, n'a pas lieu dans les chaudières à vapeur industrielles. Nous classons ce phénomène dans les causes problématiques et indéterminées que nous étudierons plus loin.

Ce *manque d'eau accidentel et total,* que l'on désigne ordinairement sous le nom plus simple, mais trop général de *manque d'eau,* est toujours suivi du coup de feu.

La plupart du temps, le chauffeur, trompé par les fausses indications des appareils de sûreté, non seulement ne s'aperçoit pas de l'abaissement du niveau de l'eau, mais encore reste convaincu que la chaudière est bien fournie de liquide.

Au fur et à mesure de l'abaissement du niveau, la pression a une tendance à diminuer, et, pour la maintenir, le chauffeur active le feu. La machine a sans doute, pense-t-il, plus de travail à fournir, et on ne peut y pourvoir autrement. Cependant la pression continuant à baisser, le feu est poussé à son maximum d'activité, c'est à ce moment que l'eau manque complètement ; la chaudière se trouve donc dans les conditions les plus favorables pour recevoir un fort coup de feu.

La tôle, rapidement portée au rouge, perd de sa cohésion, et, la pression aidant, elle se fend tout d'un coup sur une assez grande longueur.

La vapeur sort par l'ouverture béante et très ordinairement brûle le chauffeur ainsi que les personnes placées devant le foyer. Mais, vu l'absence de l'eau, la force vive disponible étant relativement peu considérable, les dégâts matériels sont, la plupart du temps, insignifiants ; le générateur est à peine ébranlé.

Quelquefois, par suite de certaines circonstances, il reste un peu d'eau dans la chaudière, et les effets mécaniques qui accompagnent l'explosion peuvent varier ; ainsi, lors de l'explosion d'une chaudière cylindrique verticale, dans une forge, au Chambon (Loire), le 20 août 1883, ayant blessé sept personnes, la troisième virole s'est déchirée entièrement.

Une murette en briques protégeant les deux viroles du bas, le fond

inférieur de la chaudière contenait encore de l'eau; il s'en est suivi que la partie supérieure s'est soulevée à une faible hauteur; elle est retombée, presque à sa place, sur la partie inférieure qui n'a pas bougé.

Lors de l'explosion d'une chaudière cylindrique à deux bouilleurs, survenue le 20 avril 1886, à Vertaizon (Puy-de-Dôme), et causée par le manque d'eau, la chaudière a été légèrement déplacée et le fourneau détruit; mais dans beaucoup de circonstances, notamment lors de l'explosion d'une chaudière à deux bouilleurs survenue à Paris, le 20 août 1879, et que nous avons déjà citée, le générateur est à peine ébranlé.

Si la tôle est de très bonne qualité, surtout lorsqu'il s'agit de chaudières à foyer intérieur, elle ne se déchire pas, mais s'affaisse jusqu'à toucher quelquefois la grille (1).

Si, par une circonstance fortuite, le chauffeur introduit de l'eau dans la chaudière avant qu'elle se soit déchirée, cette eau peut faire fendre la tôle et provoquer l'éruption de la vapeur sans que l'accident soit plus grave que précédemment.

Lors de l'explosion d'une chaudière verticale Field, locomobile, survenue à Bordeaux, le 3 décembre 1883, par suite de manque d'eau, l'accident s'est produit au moment où, « après un assez long temps « d'immobilité, on a imprimé un brusque mouvement à l'appareil.

« Immédiatement après ce mouvement, le foyer intérieur s'est « déprimé suivant une génératrice et déchiré ; les bords de la déchirure « se sont rabattus partiellement sur la grille du foyer. »

Il est probable que les tôles du fond du foyer avaient été portées au rouge par suite du manque d'eau et que le mouvement du véhicule avait projeté sur ces tôles l'eau qui existait encore dans la partie annulaire ; la contraction subite du métal a facilité la déchirure qui s'est produite immédiatement sans que l'accident ait causé de dégâts.

Citons encore l'explosion survenue au Havre le 13 octobre 1884,

---

(1) M. Cornut (1889) a exposé des échantillons nombreux et fort remarquables des avaries qui se produisent à la suite de coups de feu.

N° 11. — Déchirure à une chaudière cylindrique verticale ;

Nos 30, 35, 46. — Déchirures à des corps cylindriques ;

Nos 11 *bis*, 14, 28, 29, 37, 39. — Déchirures à des bouilleurs ;

Nos 16 à 43. — Bosses ou poches simples ou multiples, de toutes dimensions, jusqu'à 2m600 de longueur sans criques ni déchirures.

Enfin, sous le n° 45, il présente une pièce en cuivre laquelle, placée sur une tôle de coup de feu, s'est brûlée complètement, par suite d'un manque d'eau ; la température a été assez élevée pour amener une fusion partielle du métal.

d'une chaudière de canot à vapeur qui a eu lieu « au moment où l'on « alimentait », dit le relevé officiel.

La partie supérieure du foyer s'est rompue, le mécanicien a été brûlé par la vapeur, mais il n'y a eu ni projections ni dégâts matériels.

Enfin, nous pouvons rappeler l'explosion d'une chaudière cylindrique, de *grande capacité*, survenue le 21 mars 1870, aux houillères de Courrières (Pas-de-Calais) qui a eu lieu par manque d'eau, sans projection de matériaux et sans dégâts matériels.

« La tôle du coup de feu s'est déchirée longitudinalement, dit le « rapport officiel, à $0^{m}40$ environ au-dessous de la ligne des carneaux, « laissant passage à l'eau et à la vapeur contenues dans la chaudière.

« La déchirure a eu lieu peu de temps après la remise en marche de « la pompe alimentaire. »

Une jeune fille entrée dans la chambre de la chaudière au moment de l'explosion a été brûlée par la vapeur et par les charbons enflammés.

Si l'introduction de l'eau ne fait pas fendre la tôle, cette eau se vaporisera, et, au fur et à mesure de son introduction, la pression s'élèvera peu à peu jusqu'à celle de régime, et la machine reprendra son allure ordinaire.

La tôle n'en aura pas moins reçu le coup de feu, elle sera plus ou moins fendue ou crevassée et, si l'on n'y prend pas garde, elle se déchirera, sous l'action de la pression, quelques jours, quelques heures même après, et l'explosion aura lieu, terrible alors, car la chaudière sera pleine d'eau.

Nous ne prétendons pas, ainsi que l'a supposé M. Périssé dans une note que nous examinons ailleurs, que toutes les déchirures qui se produisent, lorsque la chaudière est abondamment pourvue d'eau, doivent nécessairement se prolonger et amener la projection de l'appareil; mais il est actuellement démontré que ces déchirures ne peuvent prendre une extension considérable que si la chaudière contient une quantité d'eau suffisante.

Toutefois, dans ce cas, et suivant les circonstances que nous avons fait connaître précédemment, la tôle peut se déchirer entièrement ou non et la force vive, immédiatement disponible, variant avec l'importance de la déchirure fait varier dans la même proportion les effets mécaniques.

Si, par suite de ces circonstances, les déchirures sont considérables, comme dans les explosions de Marnaval et d'Eurville, les appareils

peuvent être projetés à de grandes distances. Si les déchirures sont moindres, mais s'ouvrent subitement, l'eau peut être lancée très loin, sans que le déplacement de la chaudière soit important, comme cela est arrivé aux forges de Saint-Etienne, le 15 février 1877, où l'eau passant par une cassure de 0m40 de côté, a été projetée à plus de 60 mètres du générateur. Enfin, si la déchirure se fait progressivement, il n'y a pas d'explosion proprement dite, et l'eau et la vapeur s'échappent sans grave accident matériel. Ce dernier cas arrive fréquemment, nous en avons cité plusieurs exemples, nous pouvons rappeler notamment l'explosion survenue le 2 février 1873, à Muille-Villette.

Toutes les observations recueillies à la suite des explosions sous pression provenant du manque d'eau accidentel montrent d'abord que les parties qui ont reçu le coup de feu se déforment, soit sous l'influence de la chaleur seule, soit sous l'action de la contraction produite par le contact de l'eau; elles indiquent ensuite que les déchirures ont toujours leur origine sur les tôles placées en vue du combustible en ignition, et:

1° Lorsqu'il s'agit de foyers intérieurs métalliques, à la partie supérieure de ces foyers;

2° Lorsque ces foyers sont extérieurs, en un point variable avec le diamètre du corps chauffé.

Quand ce diamètre est très restreint, l'ouverture suit ordinairement la génératrice inférieure; le diamètre augmentant, la hauteur de la génératrice qui cède s'élève, mais se tient pour ainsi dire toujours en dessous d'un plan diamétral incliné à 45°.

Ces circonstances qui s'expliquent par les lois que nous avons données au début ont une grande importance; car elles prouvent que si dans une chaudière à foyer intérieur le manque d'eau accidentel est presque toujours suivi rapidement du coup de feu, il est loin d'en être ainsi dans les autres générateurs.

Pour les chaudières à bouilleurs, par exemple, un abaissement accidentel, même important, du niveau de l'eau n'est donc pas une cause immédiate d'explosion; il ne doit être considéré que comme un incident qui peut produire des avaries, fentes ou fissures par surchauffe, et non une explosion par coup de feu; cette explosion, ainsi caractérisée, nécessite, au contraire, un abaissement très considérable du niveau.

Ces circonstances prouvent encore que, dans l'un et dans l'autre cas, la quantité d'eau existant dans la chaudière est très faible au moment de l'explosion; conséquemment, les projections et les dégâts matériels sont insignifiants.

Nous avons déjà examiné les causes du manque d'eau qui dépendent de la construction et de l'agencement des diverses parties de la chaudière ; elles sont, ainsi que l'obstruction de certaines communications, absolument indépendantes de l'action du chauffeur.

Nous allons passer en revue celles qui produisent l'abaissement anormal du niveau de l'eau.

La cause la plus fréquente et la plus grave de l'abaissement du niveau de l'eau est le mauvais fonctionnement des appareils indicateurs. Nous avons étudié cette question avec quelques détails, en parlant des chauffeurs.

Nous avons dit et nous répétons que l'emploi simultané d'un flotteur et d'un indicateur à tube de verre ne nous paraît pas pratique.

Dans ces conditions, le tube est moins bien soigné et, le flotteur s'arrêtant, une explosion est à craindre. Il nous paraît bien préférable de faire usage soit de deux tubes en verre, soit de deux flotteurs perfectionnés.

Quoi qu'on en ait dit, le chauffeur ne laisse jamais la chaudière manquer d'eau par pure négligence ; il est bien trop exposé pour cela.

Cependant il est quelquefois imprudent en chauffant ou en continuant de chauffer lorsqu'ayant perdu de vue l'eau dans le tube, il ne peut se rendre compte de la hauteur de son niveau.

On réclame de jeter le feu bas à ce moment, cela ne se fait pour ainsi dire jamais dans la pratique, car le chauffeur suppose toujours que l'alimentation fera rapidement réapparaître l'eau dans le tube.

Mais si la circonstance qui a amené l'abaissement du niveau persiste, cet abaissement pourra continuer jusqu'à provoquer le coup de feu.

Ces circonstances sont diverses ; les plus ordinaires sont : le mauvais fonctionnement de l'appareil alimentaire ou celui des clapets d'alimentation ou de retenue ; l'obstruction ou la fermeture des tuyaux d'alimentation ou d'amenée d'eau ; enfin la mauvaise direction donnée à l'eau d'alimentation.

Il suffit, pour se rendre compte de la bonne marche des appareils d'alimentation ou de retenue, de les munir d'un contrôleur d'alimentation, trop peu employé suivant nous.

Le *primage* absorbe souvent beaucoup d'eau, il est rarement dangereux ; cependant avec des chaudières verticales tubulaires d'une grande surface de chauffe, nous avons constaté que, dans certaines circonstances, le chauffeur n'était pas maître de son niveau.

Enfin, des *fuites* à la chaudière peuvent, pendant l'arrêt de la nuit, la vider en partie ou même totalement. Ce cas est d'autant plus dangereux qu'il indique un défaut souvent grave.

Ces fuites peuvent être assez fortes pour vider la chaudière même pendant son fonctionnement.

Le chef de l'établissement doit toujours se préoccuper de cette question, et, s'il s'aperçoit d'un abaissement anormal de l'eau, il doit en chercher la cause sans retard.

Outre les appareils indicateurs dont nous avons parlé, on emploie encore d'autres moyens préventifs du manque d'eau ou de ses conséquences.

On a esssayé divers appareils destinés à maintenir le *niveau d'eau constant* dans la chaudière.

Ces appareils sont tous automoteurs.

Tout appareil automoteur pouvant, par son arrêt fortuit, faciliter l'explosion d'une chaudière à vapeur, doit être rejeté.

« L'expérience nous a appris, dit M. Testud de Beauregard, qu'il « fallait craindre l'automatisme pouvant à chaque instant manquer, en « admettant même les coordinations les plus intelligentes et les meil- « leures constructions.

« Pour notre sécurité, nous devons être attentifs, et rien autant qu'un « fonctionnement automatique n'assoupit cette attention, confiant que « l'on est dans une marche que l'on croit infaillible. »

Pour parer aux conséquences de l'abaissement du niveau de l'eau, on emploie des *bouchons fusibles.*

Les plaques fusibles sont d'un usage ancien ; l'ordonnance du 29 octobre 1823 en prescrivait l'emploi ; mais elles avaient alors pour objet de ne pas permettre à la vapeur de dépasser la température, et, par conséquent, la pression déterminée par leur degré de fusion. Elles faisaient ainsi l'office de soupapes de sûreté.

En limitant leur emploi à l'indication d'un manque d'eau total, on peut utiliser l'étain ou le plomb sans avoir recours à des alliages instables.

Dans ces conditions, l'usage de bouchons fusibles est recommandable, et ces appareils, très usités en Angleterre pour les chaudières à foyer intérieur, sont fort appréciés par les associations de ce pays.

En examinant les avaries produites sous l'influence des incrustations, des matières grasses introduites dans la chaudière et du manque d'eau, on reconnaît qu'elles sont absolument identiques.

D'ailleurs, si on veut bien remarquer que, lorsqu'une tôle incrustée s'ouvre en marche après avoir subi le coup de feu, les matières incrustantes, fendillées par la dilatation excessive de la tôle, ébranlées par le choc et balayées avec une vigueur prodigieuse par l'eau et la vapeur, n'y laissent pour ainsi dire aucune trace, pas plus que les matières grasses qui ont pu tapisser les parois, on restera convaincu que l'on a pu attribuer à l'une de ces causes une explosion produite par une autre.

Du reste, il est certain qu'un coup de feu ne détermine pas toujours une explosion, mais la tôle conserve les indices caractéristiques du manque d'eau, et l'explosion arrivée quelques jours, quelques heures même après, a pu encore être attribuée à une cause autre que celle qui l'a produite immédiatement.

Nous avons déjà fait remarquer que les indices nécessaires pour caractériser une explosion par coup de feu ne sont même pas suffisants pour la certifier; ils peuvent avoir été produits antérieurement ou postérieurement à l'accident.

Sous le n° 39, nous donnons des détails sur l'explosion d'une locomobile, survenue le 28 juillet 1878, à Aussevielle (Basses-Pyrénées).

Si l'aspect de quelques fragments montre que le ciel du foyer a été, à certains moments, porté au rouge, en même temps que d'autres parties de la chaudière placées dans son voisinage immédiat, tout indique qu'au moment de l'explosion la chaudière contenait beaucoup d'eau.

Ces considérations expliquent l'erreur qu'ont commise les Ingénieurs des Mines en attribuant au défaut d'alimentation la plupart des explosions dites foudroyantes et en acceptant le phénomène de l'état sphéroïdal comme explication de l'importance des accidents dont ils ne pouvaient trouver d'autre cause.

DIMINUTION DE LA RÉSISTANCE PRODUITE PAR LES AVARIES ACCIDENTELLES

ÉPREUVES HYDRAULIQUES A HAUTE PRESSION

L'épreuve, dit le décret du 30 avril 1880, consiste à soumettre la chaudière à une pression hydraulique supérieure à la pression effective qui ne doit point être dépassée dans le service. La pression d'épreuve sera maintenue pendant le temps nécessaire à l'examen de la chaudière dont toutes les parties doivent pouvoir être visitées.

La surcharge d'épreuve, par centimètre carré, est égale à la pression effective sans jamais être inférieure à un demi-kilogramme ni supérieure à 6 kilogrammes.

Cette épreuve est exigée pour une chaudière :

1° Avant sa mise en service quand elle est neuve;

2° Dix ans au moins après la première épreuve.

Le décret du 9 avril 1883 réduit cet intervalle à deux ans pour les chaudières de bateaux à voyageurs et à quatre ans pour celles des bateaux à marchandises, remorqueurs, etc.

L'épreuve est en outre exigible :

1° Lorsque la chaudière, ayant déjà servi, est l'objet d'une nouvelle installation ;

2° Lorsqu'elle a subi une réparation notable ;

3° Lorsqu'elle est remise en service après un chômage prolongé ;

4° Lorsque, à raison des conditions dans lesquelles elle fonctionne, il y a lieu, par l'Ingénieur des Mines, d'en suspecter la solidité.

Ce dernier paragraphe indique, de la façon la plus claire et la plus précise, que l'Administration considère l'épreuve comme une opération destinée à constater la solidité d'une chaudière à vapeur. Du reste, le Ministre des Travaux publics, dans une circulaire du 1er mars 1865, disait : L'épreuve est la principale ou pour mieux dire la seule garantie donnée au public de la solidité des appareils.

Nous pensons, comme M. Vinçotte, que ce principe sur lequel se base l'essai officiel à la presse, tel qu'il est pratiqué, est faux et qu'il conduit

fréquemment à des résultats désastreux, et cela d'autant plus que l'essai est répété plus souvent, comme le décret parait le recommander.

Pour en être convaincu, il suffit d'examiner un cas quelconque : supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'une chaudière cylindrique d'un mètre de diamètre, construite en tôle ordinaire, avec rivure simple, et devant fonctionner à une pression de 5 kilogr. La tension d'épreuve étant portée au double, soit dix kilogr., il suffira, pour que la chaudière résiste à cette épreuve officielle, que l'épaisseur des tôles soit de 3 m/m, nous disons *trois millimètres*, c'est-à-dire inférieure à celle que l'on emploie pratiquement pour les réservoirs à eau. Il n'est pas un chaudronnier qui oserait employer une épaisseur aussi minime ; non dans la crainte que la chaudière ne puisse pas résister à l'épreuve, car effectivement elle ne se romprait pas si elle était bien construite, mais parce que. sans nul doute, aucun industriel, même des moins clairvoyants, ne l'accepterait, et, assurément, l'épreuve effectuée, une pareille chaudière ferait explosion presque aussitôt que sa mise en marche.

Pratiquement, ce n'est pas 3 m/m que l'on emploie dans un cas semblable, mais 9 et 10 ; l'ancienne formule administrative française, acceptée encore par quelques constructeurs, indique une épaisseur de de 11,7 millimètres.

L'épaisseur des tôles est donc toujours largement suffisante pour supporter la pression d'épreuve ; c'est-à-dire que cette opération ne peut pratiquement servir à constater la solidité d'une chaudière à vapeur ; du reste, ainsi que nous allons le voir, le métal de la chaudière sera avarié par l'épreuve bien avant d'atteindre la pression de rupture, sans que cette épreuve l'indique ; et c'est là précisément que réside le danger.

Les industriels se demanderont, sans doute, quel moyen pratique peut leur garantir la solidité d'un appareil à vapeur ?

Pour une chaudière neuve, la responsabilité du constructeur, *non couverte par l'épreuve officielle*, est une excellente garantie qui peut être augmentée en fixant la qualité et la provenance du métal à employer, en soumettant le projet à une personne compétente et en lui faisant suivre et contrôler la construction de l'appareil.

Pour une chaudière ayant déjà servi, il n'existe aucun moyen pratique de reconnaître cette solidité. L'appréciation d'une personne compétente, après une visite minutieuse, avec sondage des tôles, peut seule donner une indication sérieuse.

Examinons ce qui se passe lors de l'épreuve.

1° POUR UN APPAREIL NEUF

Les conditions d'établissement d'une chaudière neuve doivent être telles que les assemblages travaillent, sous la pression de marche, à une tension égale au 1/5 ou tout au plus au 1/4 de la résistance à la rupture.

Admettons ce dernier chiffre qui semble être un maximum, et qui est adopté officiellement en Belgique.

L'épreuve étant poussée au double de la pression de marche, ces assemblages travaillent à la moitié de cette résistance à la rupture.

Cette moitié de résistance à la rupture correspond à peu près à la limite d'élasticité. MM. Haton de la Goupillière, Collignon, Hirsch estiment, en effet, que cette limite d'élasticité correspond à un travail de 12 à 15 kilogr. par millimètre carré.

« La limite d'élasticité, dit M. Collignon, dans son *Traité de Mécanique*, est une limite extrême à laquelle il faut que les efforts déve-
« loppés dans les constructions soient notablement inférieurs.

« Pour le fer, par exemple, la limite usuelle de résistance est fixée
« en moyenne à 6 kilogrammes par millimètre carré, tandis que la
« limite d'élasticité s'élève jusqu'à 15. »

Pour le cas d'une chaudière neuve, construite dans les conditions ordinaires, la pression d'épreuve ne dépasse donc pas la limite d'élasticité et n'a, par conséquent, aucune action bien fâcheuse sur le métal ; mais elle agit sur les rivures, elle disjoint le recouvrement et détruit le matage.

« On sait que les tôles rivées ensemble, dit M. Cornut, ne sont pas
« dans le prolongement l'une de l'autre, et, comme sous l'effort de la
« pression intérieure, elles sont tirées en sens inverse, elles ont toujours
« une tendance à se mettre dans le même plan ; il faut donc qu'il y
« ait à la rivure un pliage qui vient en partie ou même totalement
« détruire le matage. »

Et pour appuyer ses observations, il présente, sous les n°s 82 et 122, deux échantillons très intéressants de ces rivures pliées.

A propos de l'explosion d'une chaudière cylindrique à deux bouilleurs survenue le 10 mai 1874, dans une filature de coton à Monville (Seine-Inférieure), et qui a causé la mort du chauffeur et d'une ouvrière, l'Ingénieur des Mines dit qu'elle est due à la corrosion du métal produite par « des fuites provenant d'une clouure voisine et provoquée notam-
« ment par une trop grande fatigue des tôles, à la suite de la surélé-
« vation de la pression normale de marche de la chaudière. » C'est très

possible ; mais comment ne vient-il pas à l'idée de l'Ingénieur de supposer que pareille circonstance peut arriver lors de l'épreuve ?

Cette action explique pourquoi, lorsqu'un chanfrein est bien maté à la pression de marche d'une chaudière, il s'y produit des fuites sous l'action de la surcharge réglementaire.

Pour obtenir l'étanchéité à cette pression d'épreuve, le chaudronnier mate de nouveau et forme un bourrelet métallique qui s'interpose entre la tôle et le recouvrement, et, l'épreuve terminée, les tôles ne se rejoignent que par l'intermédiaire de ce bourrelet, ce qui fatigue la rivure et compromet l'étanchéité ultérieure.

M. Cornut (1889), montre, sous le n° 57, un échantillon de rivure cassée par suite d'un matage de ce genre : le bord de la tôle soulevé a occasionné des cassures entre rivets sur une étendue importante et des cassures de rivet a mature.

Cet inconvénient provient du mode de rivure dit *à recouvrement*, le plus universellement employé. On pourrait l'éviter en se servant de la rivure à *couvre-joints* qui fatigue beaucoup moins les tôles.

Lorsque la chaudière comporte un foyer intérieur ainsi que des tubes mandrinés sur des plaques tubulaires planes, ces foyers, ces tubes et ces plaques se déforment sous une forte pression; cette action est parfaitement visible pour un œil attentif. Si l'épaisseur du métal est convenable, ces déformations ne sont pas permanentes, la chaudière reprend sa forme primitive, mais les tubes restent déchaussés.

Ainsi, déjà dans le cas d'une chaudière neuve, bien établie, l'épreuve à haute pression a-t-elle une action fâcheuse.

Admettons maintenant que la chaudière ait été construite pour travailler à une tension se rapprochant davantage de la pression de rupture, 1/3 par exemple, ce qui se fait malheureusement trop souvent, une rivure mal conditionnée suffit même pour produire ce résultat, les mêmes phénomènes se produiront; mais alors, bien que la pression de rupture n'ait pas été atteinte, la limite d'élasticité du métal aura été dépassée, et les déformations de l'appareil restant permanentes, la chaudière sera avariée, sans que l'épreuve ait fait connaître ni la construction défectueuse, ni l'altération produite.

L'Instruction ministérielle du 23 juillet 1843 prévoit bien ce cas : « des fissures dans le métal, par lesquelles aurait lieu une fuite un peu « forte, dit-elle, une déformation sensible qui ne disparaîtrait pas « aussitôt que l'épreuve serait terminée, sont les signes auxquels on « reconnaît une pièce défectueuse. C'est principalement aux déforma- « tions de la pièce éprouvée que l'on doit faire attention, dans l'épreuve

« des chaudières qui sont à parois planes ou concaves extérieurement, « ou qui contiennent des tuyaux cylindriques pour la circulation de la « flamme. »

M. Couche, Inspecteur général des Mines, va jusqu'à dire que « pour « être tout à fait concluante en elle-même, l'épreuve devrait comprendre « deux opérations identiques après chacune desquelles les déformations « *permanentes* seraient mesurées. Si la seconde vérification indiquai « des déformations plus grandes que la première, l'appareil devrait « être rejeté. »

Mais si les déformations sont sensibles à un œil attentif, lors de l'épreuve, il n'est pas possible dans les cas ordinaires, même à un œil bien exercé, de reconnaître si elles sont permanentes.

Il faut souvent, pour se rendre compte de ces déformations, avoir recours à des instruments spéciaux maniés avec soin.

Pour reconnaître si un tube est bien rond, dit M. Vinçotte, on prend une baguette de fer d'une longueur un peu moindre que le diamètre du tube. D'un côté, elle est coupée à vive arête. On mesure chaque diamètre directement en cherchant le nombre de millimètres à ajouter à la baguette.

Avec ce système on obtient l'exactitude à un demi-millimètre près.

Dans le XIVe congrès des Ingénieurs en chef des Associations, M. Dubiau a fait connaître un appareil appelé le Périgraphe, qui permet de mesurer rapidement les déformations des tubes-foyers.

Sans doute le Ministre supposait que les Ingénieurs des Mines prendraient toutes dispositions nécessaires pour suivre les instructions qui leur étaient données, et c'est très certainement à cause des soins et de l'attention nécessités par l'épreuve que l'Ordonnance de 1843 réclamait la présence obligatoire, lors de l'essai, des Ingénieurs des Mines ou, à leur défaut, des Ingénieurs des Ponts et Chaussées.

Depuis longtemps ces Ingénieurs ne procèdent plus aux épreuves, et ce desideratum, selon l'expression de M. Vinçotte, est resté purement platonique.

Cependant l'Administration n'ignore pas les inconvénients qui peuvent résulter de pareils essais.

Dès le 12 juillet 1828, une instruction ministérielle disait :

« L'expérience a démontré que des substances douées d'élasticité, « telles que le cuivre et le fer, ne pourraient, sans être altérées, supporter « des tractions ou tensions qui s'approcheraient trop de celles capables « de produire leur rupture... Il est donc bien essentiel que les fabricants

« conservent à ces chaudières des épaisseurs suffisantes... S'il en était « autrement, ces épreuves pourraient les altérer, sans néanmoins y « produire aucune rupture, de sorte que les chaudières, après avoir été « soumises aux essais, seraient réellement moins résistantes et moins « bonnes qu'auparavant... Or, le seul moyen de constater le bon état « d'une chaudière, c'est de la soumettre de nouveau à l'épreuve par la « presse hydraulique. Il est donc de toute nécessité que les fabricants « ne livrent dans le commerce que des chaudières assez épaisses pour « pouvoir être, en tout temps, soumises à cette épreuve sans en recevoir « aucune altération sensible. »

Et l'Instruction ministérielle du 27 mai 1830 ajoutait :

« Les chaudières à faces planes ne pourraient être, sans inconvé- « nients, soumises aux épreuves prescrites; celles-ci les déformeraient « et les altéreraient. »

Ces chaudières dites à galeries fonctionnent sous une pression très faible (1/2 kilogr.) et le moindre excès peut les déformer et les briser. Nous pouvons citer l'explosion de la chaudière du bateau *le Porteur des Ardennes n° 22*, survenue le 25 mars 1873. L'explosion a eu lieu pendant un arrêt qui a permis à la pression de s'élever.

L'enveloppe extérieure s'est ouverte sur trois de ses faces.

Le mécanicien a été blessé ; le bateau s'est échoué dans l'écluse avec sa coque défoncée.

La chaudière du bateau *le Porteur des Ardennes n° 5* s'est rompue dans les mêmes circonstances, près de Mantes, le 15 octobre 1874.

Après certaines explosions, en calculant la limite d'élasticité d'après les épaisseurs des tôles, les Ingénieurs des Mines ont constaté que cette limite avait été dépassée *lors de l'épreuve*; que ne l'avaient-ils calculée avant !

La Commission centrale des Machines à vapeur a fait suivre des observations suivantes le rapport sur une explosion survenue le 29 janvier 1878, à Rouen :

« Explosion d'un cylindre faisant partie d'une encolleuse, éprouvé et « timbré en 1876, à 2 kilog.

« Diamètre 2^{m}20 ; longueur 1^{m}42. Surface cylindrique en tôle de « cuivre rivée aux fonds plats et soudée à elle-même le long d'une « génératrice par une brasure à l'étain.

« L'épaisseur, 3 millim. 1/2 en général, n'était, le long de la soudure, « que de 3 millim. à 2 millim. 1/2. Ces épaisseurs correspondent, pour « la pression de 2 kilog., à un travail de 6 kilog. 27, 7 kilog. 32, « 8 kilog. 79 par millimètre carré. A l'épreuve, ces tensions ont « *dépassé la limite d'élasticité.* »

Cette explosion a blessé trois ouvriers.

La chaudière verticale à foyer intérieur qui a fait explosion le 17 avril 1871, à l'usine à plomb de Carnoulès (Gard), avait un foyer d'une épaisseur trop faible, 7 millim. 1/2 pour un diamètre de 0^m80.

« La chaudière a été lancée à une grande hauteur et est allée retomber « à environ 80 mètres de distance. »

On n'a constaté ni surcharge ni détérioration et on peut se demander à quoi a servi l'épreuve officielle préalable, sinon à avarier la chaudière.

Puisqu'il est absolument démontré actuellement que l'épreuve, telle qu'elle est imposée par l'Administration, ne peut en *aucune façon* donner même une indication sur la solidité d'une chaudière neuve, la seule action qu'elle puisse avoir sur elle, c'est de l'altérer; *elle est donc une grave cause d'explosion.*

Est-ce à dire que l'on doive rejeter complètement l'épreuve hydraulique d'un appareil neuf? Tel n'est pas notre avis. Nous attachons, au contraire, une importance tellement grande à cette opération que nous la réclamons comme le seul moyen de dénoncer certaines malfaçons, aussi bien que plusieurs défauts très graves des tôles, comme les pailles, les fentes ou les cassures.

Le résultat de l'épreuve est donc une indication précieuse d'imperfections plus ou moins dangereuses.

Si les défauts qu'elle révèle sont dangereux, le constructeur, restant entièrement responsable, n'hésitera pas à les faire disparaître; s'ils sont moins graves, et si on s'astreint à en prendre note, alors que la tôle est neuve, on examinera, lors des visites ultérieures, s'ils se sont aggravés, et on les cherchera même, au besoin, sous la couche de tartre ou de matière qui pourrait les cacher.

Mais, pour les découvrir au moment de l'épreuve, il suffit d'une tension égale ou très peu supérieure à la pression de marche.

2° POUR UN APPAREIL AYANT DÉJA SERVI

Une chaudière ayant déjà servi est naturellement moins solide que lorsqu'elle était neuve; les tôles ont diminué d'épaisseur; les dilatations, les contractions, etc., en ont altéré la ténacité et la ductilité; des fentes, des corrosions en ont affaibli la solidité générale au point qu'il est souvent difficile, sinon impossible, de se rendre compte de la résistance dont elle est capable.

D'autre part, toutes les parties formant joints, toutes celles fissurées, sont garnies, enduites ou tapissées de matières diverses les rendant absolument étanches, même sous l'action d'une forte pression, et qui vont jusqu'à consolider momentanément les tôles.

M. Walther-Meunier a eu l'occasion de constater que ces incrustations, d'une certaine épaisseur, supportent parfaitement une pression considérable dans les endroits où la tôle est tellement amincie qu'elle ne résisterait pas.

M. Cornut cite l'exemple d'une chaudière qui, soumise à l'épreuve officielle, supporta très bien la pression. Après timbrage de l'appareil, la pression étant encore à 9 kilogr., il a suffi de gratter la tôle sans même la frapper, pour constater un trou bouché par la suie : le bouilleur était crevé.

Nous avons déjà cité le cas analogue d'une chaudière de forme locomotive, laquelle éprouvée et timbrée par nous révéla, quand elle fut enlevée et nettoyée, toute une partie rongée et pleine de trous.

Les Ingénieurs des Mines reconnaissent eux-mêmes que des défauts ayant causé une explosion existaient probablement avant l'épreuve sans avoir, par conséquent, été révélés par elle.

L'explosion d'une chaudière cylindrique à foyer intérieur, survenue le 22 mars 1878, à Genlis (Côte-d'Or), notamment, a été produite par une fissure ancienne.

Cette chaudière, construite en 1862, a eu son foyer réparé, éprouvé et timbré à 5 kilogr. 500, en 1874. La fissure qui a produit l'explosion était, suivant l'aveu de l'Ingénieur des Mines, probablement antérieure à l'épreuve de 1874.

Lorsque la résistance à la rupture des parois d'une chaudière ayant déjà servi est moindre que la pression d'épreuve, la partie la plus faible se déchire.

Mais les autres parties de cette chaudière ont été soumises à une tension voisine de celle capable de produire la rupture, il ne peut y avoir aucun doute à cet égard; le métal a donc dû s'altérer, suivant l'aveu même de l'Administration.

Il serait alors judicieux de condamner l'appareil. Le fait-on ? Pas du tout, on rattache la partie déchirée, une nouvelle épreuve est faite, la chaudière résiste, elle est bonne, suivant le règlement, puisque, grâce à l'épreuve, on s'est assuré de sa *solidité !*

Nous citons ailleurs deux exemples de chaudières déchirées lors de l'épreuve officielle. Nous pouvons affirmer que, pour l'une, la collerette cassée a été changée ; et, pour la seconde, une pièce a été mise

reliant les deux parties de la virole déchirée. Ces deux chaudières essayées à nouveau ont supporté la pression d'épreuve et ont été acceptées et timbrées par l'Administration des Mines.

En Belgique, une chaudière à vapeur ne peut fonctionner à une pression dépassant le quart de celle qui ferait rompre quelqu'une de ses parties. Elle doit cesser de fonctionner dès qu'elle ne satisfait plus à cette condition. Nous sommes loin d'en être là en France.

Pour toute chaudière, ayant déja servi, qui est soumise à l'épreuve, s'il n'y a pas rupture, rien n'indique que la tension n'a pas été voisine de celle capable de la produire.

Elle a donc pu dépasser la limite d'élasticité et détériorer la chaudière sans qu'on puisse même s'en apercevoir.

Il est très facile de s'en convaincre.

Pour fixer les idées, supposons que la chaudière porte le timbre de.	6 k^{os}
Pour être construite dans d'excellentes conditions, elle ne doit se rompre que sous une pression cinq fois plus forte, ou.	30 k^{os}
La limite d'élasticité du métal correspond à environ moitié de cette pression, soit.	15 k^{os}
La pression d'épreuve, double de celle du timbre, est de. .	12 k^{os}

La limite d'élasticité n'a donc pas été atteinte lors de l'épreuve de la chaudière neuve.

Mais après avoir fonctionné, la solidité de la chaudière a diminué; admettons que cette diminution soit d'environ un quart, c'est-à-dire que la pression de rupture soit ramenée à.	22 k^{os}
La limite d'élasticité correspondant à la moitié de celle de rupture sera alors de.	11 k^{os}
La pression de marche ou de timbre restant.	6 k^{os}
Celle d'épreuve sera encore de.	12 k^{os}

La pression de rupture sera donc loin d'être atteinte et la chaudière, par conséquent, ne se déchirera pas, mais la limite d'élasticité aura été dépassée lors de l'épreuve et la chaudière restera avariée.

Si la chaudière est construite dans des conditions ordinaires, c'est-à-dire pour une pression de rupture égale à quatre fois la pression de marche, il suffira d'une diminution de résistance d'un sixième pour que la limite d'élasticité du métal soit dépassée lors de l'épreuve.

C'est, du reste, ce que professe M. l'Inspecteur général des Mines Callon dans son *Cours de Machines*. Dans certains cas, dit-il, « l'ac-« cident s'est produit parce que la pièce qui a manqué... peut-être

« énervée antérieurement par quelque surcharge accidentelle, qui, « sans la rompre cette fois, l'avait plus ou moins altérée en lui faisant « dépasser sa limite d'élasticité, a fini par céder sous l'effort normal « qu'elle était appelée à supporter. »

Il est vrai que l'Administration disait autrefois « qu'il est de toute « nécessité que les fabricants ne livrent dans le commerce que des « chaudières assez épaisses pour pouvoir être, en tout temps, soumises « à cette épreuve sans en recevoir aucune altération sensible. » C'est une prétention exorbitante, elle ne peut servir, comme beaucoup d'autres, qu'à dissimuler un vice du règlement, sans avoir ni sanction rationnelle ni même un sens pratique.

Il est évident qu'aucun constructeur ne peut être responsable de l'usure d'une chaudière à vapeur; et, quelle que soit l'épaisseur primitive, il arrivera toujours un moment où la chaudière deviendra trop faible pour la pression indiquée par le timbre.

Pour les foyers et les tubes soumis à la pression d'épreuve qui tend non pas à les déchirer, mais à les aplatir, la limite d'élasticité est atteinte encore plus facilement; cependant, et c'est là un point à noter, ces parties se déforment souvent sans s'écraser, parce que la pression d'épreuve n'est que momentanée ; mais, lorsque ces tubes, une fois déformés, sont soumis à un effort durable, ils s'écrasent sous une pression même inférieure à celle qu'ils ont supportée quelque temps auparavant.

Des déformations même très faibles ont, suivant M. Vinçotte, une influence très notable sur l'écrasement des foyers.

La Commission centrale des Machines à vapeur l'avait déjà constaté. A propos de l'explosion d'une chaudière cylindrique à deux bouilleurs et trois gros tubes de retour, survenue le 13 février 1864, à Coppenansfort (Nord), par suite de l'écrasement, sous la pression ordinaire, d'un tube de retour de 8 mètres de longueur et de 0^m50 de diamètre; elle a exprimé l'avis que ces organes se déforment, et que « la déformation de « ces tubes, une fois commencée, va souvent jusqu'à l'écrasement com« plet et peut ainsi ouvrir instantanément de larges issues à l'eau et à « la vapeur. »

Un grand nombre de tubes s'écrasent chaque année sans qu'on puisse reconnaître aucun défaut comme cause de l'écrasement. M. Vinçotte croit que toutes ces explosions sont dues à ce que les tubes n'étaient pas ronds.

C'est spécialement pour éviter ces déformations qu'on emploie, surtout en Angleterre, les foyers du système Fox, formés d'un cylindre sans rivure à section ondulée. Ces foyers opposent une résistance considérable à l'écrasement.

Ainsi que nous l'avons dit, après un certain temps de fonctionnement, une chaudière étant garnie de matières incrustantes reste étanche à l'épreuve, et, en effet, dans beaucoup de cas, il ne sort pas une goutte d'eau.

Si donc, lors de l'essai, on remarque une fuite, ce qui est fréquent, elle provient d'un défaut occasionné par l'épreuve elle-même, soit que la tension trop forte ait fait plier les rivures, soit qu'elle ait accentué les fentes ou fissures existant antérieurement, soit enfin qu'elle en ait provoqué de nouvelles.

Toutes les personnes qui ont assisté à un certain nombre de ces opérations ont entendu ce bruit particulier que produit une cassure s'ouvrant, le plus souvent, de rivet à rivet.

Les exemples, cités par M. Cornut, dans la savante étude qu'il a faite à ce sujet et que nous résumons plus loin, ne laissent aucun doute sur la réalité des défauts dangereux produits par l'épreuve.

Chose remarquable, et qui concorde avec ce que nous avons dit précédemment pour les tubes, la déchirure ne se produit souvent pas dès que la pression est arrivée à sa plus haute limite, mais quelque temps après ; nous pouvons en citer deux exemples :

Nous assistions, avec un de nos collègues, à l'épreuve d'une chaudière à deux bouilleurs d'occasion. L'épreuve avait été faite, au préalable, devant lui, conseil de l'acquéreur, elle avait bien réussi.

La pression d'épreuve fut atteinte de nouveau en notre présence. Après quelques instants d'examen, la pompe arrêtée, nous allâmes vérifier cette pression d'épreuve au manomètre placé à la partie supérieure ; elle n'avait pas varié. Nous faisions déjà signe d'ouvrir le robinet de décharge, lorsqu'un déchirement se produisit à la collerette du dôme, le pied du chaudronnier placé sur cette collerette fut repoussé, l'ouvrier glissa et il tomba de plusieurs mètres de hauteur.

Nous assistions à l'épreuve décennale d'une chaudière genre locomotive. La pression d'épreuve avait été atteinte rapidement, pas une goutte d'eau n'était sortie ; notre examen étant terminé, nous avions donné l'ordre de lâcher l'eau. Par une circonstance fortuite, le chaudronnier préféra auparavant poinçonner le timbre. Au premier coup de marteau une rivure supérieure du corps cylindrique se déchira sur toute sa longueur mesurant environ soixante centimètres.

Les chaudronniers et surtout les marchands de chaudières d'occasion connaissent bien cette particularité, ils emploient tous leurs efforts pour faire abréger le temps pendant lequel la chaudière reste en pleine pression d'épreuve.

Ce que nous avons dit de l'étanchéité, lors de l'épreuve, des chaudières ayant déjà servi, n'est évidemment pas applicable aux joints amovibles que l'on refait au moment de l'essai. Il faut un ouvrier habile pour les bien réussir, même en employant des tresses de chanvre au lieu de mastic ou de rondelles de caoutchouc qui résistent rarement à froid.

Lorsque ce joint n'est pas exécuté dans les conditions requises, il fuit, et, pour le rendre suffisamment étanche, afin que l'épreuve soit acceptée par l'Administration, on serre les boulons à outrance. On détériore leur tige ou leurs filets, et souvent ils cèdent peu de temps après.

Le n° 2 de notre relevé donne des détails sur l'explosion d'une chaudière tubulaire à foyer amovible survenue le 29 avril 1889, à Calais, laquelle a été produite par la rupture des boulons du joint amovible, six mois après l'épreuve officielle à haute pression.

Certaines maisons de construction ont des boulons spéciaux et des tresses de chanvre appropriées aux épreuves ; mais les industriels ordinaires ne s'astreignent pas à ces précautions dont ils ignorent l'importance, ou bien ces boulons sont encastrés, prisonniers, et on ne peut les changer facilement.

Dans ce cas, la sécurité de l'attache est bien compromise par les exigences de cette épreuve officielle.

La plupart des chaudières tubulaires, ou ayant des parties planes, portent des tirants ou des entretoises qui consolident, l'une par l'autre, deux parties qui se font face. Ces accessoires, souvent indispensables, de la solidité d'un générateur s'usent et se corrodent.

Soumises à la pression d'épreuve après un certain temps d'action, les entretoises se rompent souvent, en faisant entendre un bruit caractéristique suivi d'une trépidation générale du générateur et d'un abaissement subit de la pression ; cependant le bris d'une entretoise empêche rarement d'atteindre la pression d'épreuve, de sorte qu'une chaudière est souvent acceptée par le service des Mines et timbrée malgré cet incident.

Il est de toute prudence de remplacer l'entretoise cassée ; cependant certains industriels n'en voient pas la nécessité, l'épreuve a bien réussi, la chaudière est bien suffisamment solide !

Dans son rapport sur l'explosion de la locomotive n° 242 des chemins de fer de l'Est, survenue le 17 août 1861, à Vesoul, M. l'Ingénieur des Mines, Lebleu, déclare que des entretoises « ont pu être rompues au « moment de l'épreuve. »

Si ces entretoises ne cèdent pas sous l'action de la pression d'épreuve

la limite d'élasticité a pu être dépassée; le métal est altéré, et elles se brisent plus tard.

Dans l'un et dans l'autre cas, la diminution de résistance de la chaudière est notable.

Notre relevé comporte sous les n°s 29 et 30 deux accidents survenus par suite de ruptures d'entretoises, le premier moins d'un an, le second six mois après l'épreuve officielle :

N° 29. — Explosion d'une chaudière tubulaire à retour de flammes, le 7 février 1882, à Rochefort ; 2 hommes tués, 2 autres blessés.

N° 30. — Explosion d'une chaudière cylindrique tubulaire à foyer intérieur, le 19 mai 1886, à Bougival ; 2 hommes tués, 4 blessés, bateau en pièces.

Le Décret de 1880 a eu pour conséquence de faire soumettre à la pression d'épreuve des appareils qui n'avaient pas été construits pour la supporter.

Certaines industries, en effet, emploient, pour des services de chauffage, des récipients de vapeur qui ne demandent pour ces services qu'une tension à peine appréciable. Cependant, il fallait désigner une pression pratique et placer une médaille de timbre l'indiquant. En l'absence de constructeur compétent et responsable, on n'a pu le faire avec toute connaissance de cause; un certain nombre de ces appareils ont été déchirés par l'épreuve, d'autres ont résisté, mais pour éclater peu de temps après.

Cette conséquence était forcée.

Le Décret de 1880, cause de plusieurs explosions de ce chef, aurait dû, tout au moins, n'avoir pas d'effet rétroactif.

Nous pouvons citer l'exemple frappant de l'explosion d'un récipient survenue à Vieux-Moulin (Vosges) le 24 juin 1889, et qui figure sous le n° 8, dans notre relevé. Ce cylindre, ayant fonctionné pendant 26 ans sans avarie, a éclaté 4 mois après l'épreuve officielle.

En résumé, l'essai officiel à haute pression ne peut, en *aucune façon*, donner même une indication sur la solidité d'une chaudière ayant déjà servi, et, contrairement à ce qui se passe pour les chaudières neuves, l'épreuve ne révèle même pas les défauts des tôles ou des assemblages. Il est certain d'ailleurs que cette épreuve est une cause sérieuse d'avaries, elle doit donc être considérée, dans tous les cas, comme une *cause d'explosion*, et, par conséquent, être radicalement supprimée.

En supprimant l'épreuve officielle des chaudières dites d'occasion, on mettra un frein à la vente de ces appareils viciés, rebutés, dont les défauts sont, le plus souvent, cachés par la pose de quelques goujons,

par l'emploi du mastic de fonte ou par d'autres moyens analogues leur permettant de résister à l'action de la presse qui les détériore de nouveau, et d'être livrés pleins d'avaries, sous le timbre administratif qui en *garantit la solidité !*

Dans son étude sur les avaries reconnues à la suite des épreuves officielles à haute pression, M. Cornut cite le cas d'une chaudière, achetée d'occasion, qu'il a visitée avant la mise en marche, mais après l'épreuve faite chez le vendeur ; il a découvert 21 cassures de différentes dimensions dont une était dissimulée par une suite de goujons en cuivre de 120 millimètres de longueur.

Sous les nº 52 à 55, il en montre d'autres exemples : « Ce sont, dit-il, « des échantillons prélevés dans un générateur acheté d'occasion et « installé à côté d'anciens générateurs marchant depuis longtemps. Au « bout d'un certain temps de marche, on s'aperçut que les rivures des « bouilleurs présentaient des défauts plus ou moins nombreux. On en « répara quelques-unes, mais les autres présentèrent bientôt les mêmes « défauts. A l'examen, on reconnut que les tôles étaient en fer de qua- « lité inférieure ; le métal était aigre et cassant. On dut, en fin de « compte, remplacer les deux bouilleurs. »

Cet ingénieur très regretté, chef de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur du Nord de la France, chargé, dès l'année 1883, par tous ses collègues de réunir et de coordonner tous les renseignements qu'il pourrait se procurer sur les avaries produites par les épreuves officielles, en a fait une étude dont il a donné lecture, en 1887, dans le XIIe Congrès des Ingénieurs en chef.

Nous résumons cette étude aussi consciencieuse que savante :

Les générateurs ont à subir divers efforts mécaniques :

1° Une pression proportionnelle à la tension, soit un cinquième de la résistance à la rupture ;

2° Des efforts résultant du fonctionnement des générateurs, des dilatations inégales, contrariées, anormales, engendrant des cassures, fentes, etc., qui indiquent leur puissance.

Les essais hydrauliques produisent des effets analogues aux premiers, mais non aux seconds.

« Il est évident que de bons résultats obtenus à l'épreuve ne peuvent « autoriser à conclure que le générateur qui a résisté à l'essai ne « présentera aucun défaut dangereux dans les circonstances ordinaires « de son emploi. »

Le tableau ci-après résume la statistique des essais légaux faits par l'Association avec le service des Mines du Nord et du Pas-de-Calais :

		1882/83	1883/84	1884/85	1885/86	1886/87	Totaux	Proportion %
1° Epreuves manquées par suite de mauvaises préparations		4	8	10	14	13	49	3.88
2° Epreuves manquées par suite de défauts trouvés dans la visite effectuée pendant l'épreuve.	Défauts visibles. . . .	10	11	19	24	21	85	6.74
	Défauts qui n'ont pu être découverts que par une visite très minutieuse. .	7	3	15	34	19	78	6.19
3° Epreuves réussies et appareils timbrés, mais certificat refusé à la suite de défauts trouvés dans la visite intérieure faite après l'épreuve. Par suite annulation de l'épreuve.	Avec le concours de l'Association	3	»	5	7	4	19	1.50
4° Epreuves réussies et appareils timbrés. Défauts très graves trouvés avant la mise en marche ou peu de temps après dans les visites intérieures.	Sans le concours de l'Association, les chaudières étant entièrement nues. . . .	1	»	1	1	»	3	»
5° Epreuves réussies		»	»	»	»	»	1026	»
Nombre d'épreuves faites pendant l'exercice, par le service des Mines, avec le concours de l'Association.		»	»	»	»	»	1260	»

Sur 1260 essais effectués, on voit que :

1026 ou 81.43 % ont été bons ;

49 ou 3.89 % ont été refusés pour défauts de préparation ;

85 ou 6.74 % ont été refusés pour défauts visibles pendant la visite faite au moment de l'épreuve ;

100 ou 7.94 % auraient été timbrés par le service des Mines, s'il n'y avait eu une visite extérieure très minutieuse pendant l'essai ou une visite intérieure après l'essai.

Ces chiffres justifient la manière d'opérer adoptée dès 1881, de ne faire chez les Industriels de l'Association du Nord les essais légaux, *sans démolition totale de la maçonnerie,* qu'à la condition qu'un Inspecteur fasse la visite pendant l'essai, et que l'Association délivre un certificat de bon état comme résultant de la visite intérieure effectuée après l'essai.

STATISTIQUE OFFICIELLE DES EXPLOSIONS DE GÉNÉRATEURS

Si l'essai à la presse est une bonne mesure pour découvrir les défauts dangereux et ne pas en provoquer, on doit trouver que les accidents sont très rares dans les années qui suivent un essai légal.

1er RELEVÉ PARTIEL DES EXPLOSIONS DE GÉNÉRATEURS DE 1878 A 1885

Temps écoulé depuis la dernière épreuve jusqu'à la date de l'explosion.	Proportion pour % par rapport au nombre partiel (164) des explosions survenues pendant chaque année consécutive.	Nombre d'explosions et Observations diverses
Dans la 1re année qui a suivi la dernière épreuve	25.61	NOTA. — Dans ce travail ne sont comprises que les explosions dont nous connaissons la date de la dernière épreuve.
— 2e —	13.41	Il y a eu de 1878 à 1885 199 explosions.
— 3e —	6.70	Pour 164 nous connaissons la date de la dernière épreuve et pour 35 nous ne la connaissons pas. Il y a donc 17,6 % des chaudières ayant fait explosion pour lesquelles la date de la dernière épreuve nous est inconnue.
— 4e —	12.80	
— 5e —	7.93	
— 6e —	4.27	
— 7e —	5.49	
— 8e —	1.22	
— 9e —	4.27	
— 10e —	4.27	
Au delà	14.03	
	100.00	

En résumé donc, pour 40 °/₀ des chaudières qui ont fait explosion, l'essai légal avait eu lieu dans un délai de moins de deux ans.

2° RELEVÉ PARTIEL DES EXPLOSIONS DE GÉNÉRATEURS DE 1878 A 1885

Temps écoulé depuis la dernière épreuve jusqu'à la date de l'explosion	Nombre total d'explosions qui ont eu lieu et dont la date de la dernière épreuve est connue.	Nombre d'explosions dans lesquelles l'épreuve n'a joué aucun rôle.	Nombre d'explosions dans lesquelles l'épreuve a joué un rôle défini par la note A.	Observations diverses
Dans la 1re année qui a suivi la dernière épreuve	42	27	15	Nombre d'explosions non relevées dans le tableau, pour lesquelles la date de la dernière épreuve est inconnue...... 35.
— 2e —	22	18	4	
— 3e —	11	11	»	
— 4e —	21	21	»	
— 5e —	13	13	»	
— 6e —	7	7	»	
— 7e —	9	9	»	**Note A**
— 8e —	2	2	»	
— 9e —	7	7	»	
— 10e —	7	7	»	
Au delà....	23	23	»	Pour les explosions inscrites dans cette colonne, l'épreuve peut être considérée comme inutile ou dangereuse parce qu'elle n'a pas révélé : ou des défauts graves préexistants, ou l'aggravation par l'épreuve elle-même de défauts déjà existants, ou qu'elle a fait naître de nouveaux défauts graves.
	164	145	19 Soit 11 °/₀ du nombre figurant dans la 1re colonne.	

Les dix-neuf explosions de cette catégorie ne se présentent que pour les deux premières années, et encore faut-il remarquer que quinze sur dix-neuf explosions ont eu lieu pendant la première année qui a suivi l'essai.

D'après les renseignements communiqués par M. Vinçotte sur les

explosions qui se sont produites en Belgique, en moins d'un an après un essai officiel à la presse, et qui ne proviennent ni d'un manque d'eau ni d'un excès de pression, il résulte que sur *quinze* explosions :

1° *Quatre* explosions ont eu lieu par écrasement des tubes intérieurs dont l'une s'est produite le lendemain et l'autre six semaines après un essai officiel à la presse.

Pour ces deux-là, tout au moins, il paraît certain que l'essai avait déformé le tube ;

2° *Quatre* explosions se sont produites par des fissures à la courbure de fonds, de dômes ou de parois planes ; l'une d'elles s'est faite à 2 atmosphères et demie le lendemain d'un essai à 10 atmosphères ; une autre à 6 atmosphères, dix-sept jours après un essai à 12 atmosphères.

Ici, comme le doute n'est pas possible, l'essai a produit ou fortement développé les fissures ;

3° *Trois* explosions survenues respectivement un mois, trois jours, et sept jours de marche après un essai, sembleraient indiquer que, même dans les corps cylindriques, l'essai peut provoquer des dégâts, sans qu'on les remarque à l'extérieur.

« Dans le rapport de la *Nationale Boiler Insurance C° Limited* de Manchester de 1886, on trouve quelques renseignements intéressants :

« Quelques personnes, dit ce rapport, croient fermement à l'utilité « de l'épreuve hydraulique, quoique cette opinion ne soit pas justifiée « par les faits. Cette épreuve a souvent été jugée bonne, manifestant « des défauts, mais, très souvent, elle ne l'a pas fait et de là des explo- « sions de chaudières qui ont très souvent suivi son application, quoique « les chaudières eussent subi d'une façon satisfaisante l'essai hydrau- « lique. »

Le rapport cite ensuite quelques exemples à ce sujet.

Et pour qu'on puisse bien juger de l'importance des défauts que ne signalent pas les essais à froid, M. Cornut donne *trente-trois* exemples indiquant d'une façon irréfutable que, à la suite d'épreuves officielles ayant réussi, les chaudières ayant été timbrées par l'Administration, les visites intérieures ont révélé des défauts absolument dangereux, existant avant l'épreuve et qu'elle n'avait pas révélés, ou survenus pendant cette opération.

Voici le relevé des cas signalés par M. Cornut et que nous avons classés suivant la nature des défauts ou avaries :

Nos d'ordre de M. Cornut	AVARIES CONSTATÉES APRÈS L'ÉPREUVE OFFICIELLE
	1° FENTES ET CASSURES
2	Le 18 octobre 1882 — Cassure produite au gousset de droite à l'avant-foyer déterminant une fuite considérable. L'appareil fut réparé et, le 26 octobre, la chaudière fut éprouvée avec succès après démolition du fourneau.
	Quatre ou cinq jours après la mise en feu, la chaudière se vida, la deuxième rivure circulaire était cassée sur 0^m55 de long ;
9	Cassure de $200^m/^m$ de longueur ;
10	Nombreuses cassures de rivets à mature, quelques-unes continuant en pleine tôle ;
11	Cassure comprenant cinq rivets sur une longueur de 330 $^m/^m$; deux autres cassures entre rivets. Ces cassures n'avaient pas fui à l'épreuve.
12	Cassure dans le congé d'une cornière ; Cassure dans une cornière en fer ; Cassure dans une cornière en cuivre ;
13	Cassures entre six rivets sur $370^m/^m$ de longueur ;
15	Quantité de cassures provenant du dérivetage et du rivetage de la demi-virole du coup de feu ;
20	Cassure de 1^m050 en pleine tôle ;
23-24	Cassures de rivets au bord ;
25	La tôle est fendue sur $250^m/^m$ de longueur ;
27	7 cassures entre rivets de 21, 28, 35 et 56 $^m/^m$ de longueur ; 11 cassures de rivets à mature ; 1 cassure de rivet à mature se prolonge en pleine tôle ; 1 cassure dissimulée par une suite de goujons en cuivre sur $120^m/^m$ de long ; 1 cassure en pleine tôle de $924^m/^m$;
29	Cassure de $60^m/^m$ de hauteur dans une des communications en fonte ;

Nos d'ordre de M. Cornut	AVARIES CONSTATÉES APRÈS L'ÉPREUVE OFFICIELLE
31	Lettre d'un industriel à M. Cornut, 12 septembre 1885 : « Notre chaudière, n° 5, nous est revenue réparée de chez « M. X... où elle avait subi l'épreuve à la pression hydrau- « lique (*Essai officiel fait le 7 août* 1885). Nous l'avions « remontée et mise en pression, lorsque, par suite d'une fuite « à la vanne d'entrée de vapeur, nous avons eu à enlever les « cylindres du dôme de vapeur en tôle, *nous avons trouvé la* « *tôle fendue en dedans et presque tout autour du dôme;* « la fente paraissait fraîche en partie et avait dû être déter- « minée, ou au moins fort augmentée, par la pression hydrau- « lique qui n'avait pas révélé pourtant de fuite (*puisqu'on* « *avait timbré la chaudière*). « Ces essais sont donc non seulement mauvais pour les « chaudières, mais peuvent donner dans certains cas, comme « dans celui-ci, une sécurité trompeuse. »
32	Cassures sur toute l'étendue d'une tôle. Elles sont si profondes qu'on peut y introduire l'extrémité d'un burin; Autre cassure d'une étendue de 200m/m.
	2° TOLES ET RIVURES RONGÉES
1	Epaisseur réduite de moitié ;
3	Epaisseur réduite de 14 à 5m/m ;
4-5	Epaisseur réduite à 1m/m ; têtes de rivets à moitié rongées ;
6	Epaisseur réduite à 1m/m ; à plusieurs endroits il existe des trous ;
7	Tôles rongées : Après le timbrage officiel de la chaudière, la pression étant encore à 9 kil, il a suffi de gratter la tôle, sans même la frapper, pour constater un trou bouché par la suie : le bouilleur était crevé.
7 *bis*	Epaisseur réduite de 10m/m { à 1m/m sur 100 × 25m/m à 2m/m sur 140 × 40m/m à 3m/m sur 120 × 10m/m

Nos d'ordre de M. Cornut	AVARIES CONSTATÉES APRÈS L'ÉPREUVE OFFICIELLE
8	Tête de rivet rongée à moitié. La tôle depuis ce rivet jusqu'au bord n'existe plus. Au matage la tôle est rongée, elle n'avait en un point qu'un demi-millimètre, on l'a percée au marteau ;
16	Tôles et rivures fortement rongées, un endroit crevé ;
22	Deux trous de corrosion de 4 à $5^{m}/^{m}$ percés aux endroits les plus faibles ; il ne restait que 1 1/2 à $3^{m}/^{m}$ d'épaisseur ;
8	Trous de corrosion profonds ; en deux endroits la tôle n'avait plus que $1^{m}/^{m}$ 1/2 d'épaisseur et elle a été percée au marteau ;
26	Tôle tellement usée au contact de la maçonnerie que chaque coup de marteau y faisait un trou. En deux endroits de cette tôle il y avait des trous de $10^{m}/^{m}$ à $20^{m}/^{m}$ de diamètre.
18	Une tôle est profondément corrodée sur toute sa longueur, elle n'a plus que $3^{m}/^{m}$ au lieu de 11.
	3° PAILLES ET SOUFFLURES
28	Paille au coup de feu 2 à $3^{m}/^{m}$ d'épaisseur et $100^{m}/^{m}$ de diamètre ;
17	Deux pailles et deux soufflures.
	4° FUITES AUX RIVURES
14	Fuite à une rivure circulaire.
	5° AFFAIBLISSEMENT GÉNÉRAL
19	Oxydation générale de toute la chaudière, particulièrement du bouilleur. En conséquence, ce bouilleur a été remplacé à ce moment, c'est-à-dire après la visite intérieure et par suite après la réussite de l'épreuve ;
21	Etat d'affaiblissement général des tôles et rivures rongées partout ;
23 et 24	Oxydation intérieure très considérable sur toute la surface ; en certains endroits il ne reste plus qu'une épaisseur insignifiante ; Corrosion générale intérieure.

Et M. Cornut conclut ainsi :

« 1° Les essais à la presse hydraulique, tels qu'ils sont pratiqués « conformément aux règlements, ne donnent en général aucune indi- « cation sérieuse et exacte sur le danger qu'il peut y avoir à se servir « d'une chaudière ;

« 2° Ces essais peuvent augmenter des défauts déjà existants ou en « produire de très dangereux et préparer ainsi une explosion. »

A propos de l'explosion si extraordinaire de 22 chaudières à vapeur survenue aux hauts fourneaux de Fridenshütte (Haute-Silésie), dans la nuit du 24 au 25 juillet 1887, chaudières dont 21 d'entre elles avaient été éprouvées au double de la pression effective, pendant les années 1886 et 1887, M. Olry, Ingénieur en chef des Mines, rapporteur à la Commission centrale des Machines à vapeur, après avoir cité les opinions émises par plusieurs Ingénieurs sur cet accident, et commentant le travail de M. Cornut, s'exprime ainsi :

« Les Ingénieurs allemands font remarquer que les épreuves par « pression hydraulique, faites en 1886 et 1887, permettaient de compter « sur l'efficacité des réparations exécutées en dernier lieu.

« A notre avis, cela est loin d'être démontré.

« M. Cornut, Ingénieur en chef de l'Association des propriétaires « d'appareils à vapeur du nord de la France, a publié en effet une sta- « tistique des épreuves légales opérées, avec le concours de cette Asso- « ciation, par les Ingénieurs des Mines du Nord et du Pas-de-Calais, « de laquelle il résulte qu'un certain nombre de chaudières auraient été « timbrées comme ayant subi l'épreuve avec succès, si les visites exté- » rieures et intérieures de l'Association faites pendant et après l'essai, « n'y avaient révélé l'existence de défauts importants. De plus, « M. Cornut a fait voir. d'après les statistiques officielles qu'un assez « grand nombre d'explosions paraissent avoir été facilitées, sinon pro- « voquées par l'épreuve elle-même et la fatigue exceptionnelle qui en « a été la conséquence. De cette double série d'observations, il conclut « que les essais à la presse hydraulique demandent à être faits avec « des soins tout particuliers pour présenter des garanties complètes de « sécurité, et peuvent même, s'il en était autrement, constituer un « danger en augmentant, sans qu'on s'en aperçoive, des défauts déjà « existants ou en en créant de nouveaux. C'est peut-être ce qui est « arrivé dans les dernières épreuves des chaudières de Fridenshütte. »

On ne saurait mieux dire.

Nous devons faire remarquer toutefois que M. Olry paraît prêter à M. Cornut une opinion différente de celle qu'il a exprimée dans les conclusions qui terminent son étude. Nous avons cité ces conclusions qui condamnent l'épreuve officielle, parce que, ne donnant aucune indication sérieuse, elle peut produire des avaries et préparer ainsi une explosion.

Ce n'est pas le sens que semble leur attribuer M. Olry.

La seule manière de procéder à l'essai par la presse hydraulique consiste à élever la pression au taux officiel d'épreuve ; et pour nous, comme pour M. Cornut, une épreuve ainsi faite ne présente aucune garantie de sécurité.

Mais l'essai, entrepris dans le but unique de *satisfaire aux exigences du règlement*, a pu augmenter des défauts déjà existants ou en créer de nouveaux ; il est donc indispensable, dans ce cas, quand on le peut, de faire suivre l'épreuve d'une visite minutieuse et complète pour reconnaître et réparer au besoin ceux qui restent apparents.

Si c'est là le sens des observations de M. l'Ingénieur en chef Olry, nous sommes absolument de son avis.

Pour compléter cette étude, nous avons relevé les explosions d'appareils à vapeur survenues pendant la période de 1878 à 1891, *moins d'un an* après l'épreuve officielle, et nous les avons classées suivant les causes que leur a attribuées l'Administration, en écartant celles pour lesquelles l'épreuve n'a joué aucun rôle.

Bien que comportant un nombre assez considérable d'explosions, ce relevé est forcément incomplet, car la date des épreuves est rarement indiquée dans les comptes rendus officiels.

Nous avons accompagné ce relevé d'observations critiques qui nous ont été suggérées par les circonstances.

DATE de L'EXPLOSION 1	DATE de la CONSTRUCTION 2	DATES des ÉPREUVES 3	TEMPS ÉCOULÉ depuis la dernière ÉPREUVE 4	INDUSTRIE et LOCALITÉS 5	NATURE de L'APPAREIL 6	CIRCONSTANCES de L'EXPLOSION 7	CONSÉQUENCES de L'EXPLOSION 8
N° 1		**1° DEFAUTS DE CONSTRUCTION**					
18 mars 1881	»	»	3 jours	Tannerie à Digoin	Chaudière cylindrique horizontale.	Après une réparation eut lieu une tentative d'épreuve montrant que la chaudière était dans un état inquiétant. Remise malgré cela en service, la chaudière fit explosion trois jours après.	Le corps de chaudière fut projeté et avant de s'abattit en travers d'une rue. Une virole pesant 200 kilog. fut lancée à 60 m.
N° 2							
29 avril 1889	»	8 octobre 1888	6 mois	Bateau drague à Calais	Chaudière cylindrique horizontale tubulaire à foyer amovible.	Rupture du joint réunissant le corps cylindrique à la partie amovible. Enveloppe projetée à l'arrière et le reste de l'appareil projeté à l'avant. L'épreuve opérée le 8 octobre 1888 l'avait été sans succès, à cause des fuites au joint amovible.	3 hommes tués ; 4 blessés ; Drague coulée ainsi qu'un chaland voisin.
N° 3		**II. — MAUVAISE QUALITÉ DE LA TOLE**					
4 mars 1891	1871	22 juillet 1890	7 mois	Bateau à vapeur de passage à Suresnes.	Chaudière cylindrique horizontale tubulaire.	Violente explosion : le corps cylindrique s'est déroulé et a été projeté presque en entier à 100 mètres de distance. Il présentait, après l'accident, des matelassures correspondant à l'arrachement des entretoises, et des fissurations partant des bords et s'étendant en pleine tôle.	2 personnes tuées ; bateau détruit.
N° 4							
16 Décembre 1881	»	1880	Un an	Papeterie à St-Pantaléon (Corrèze).	Chaudière horizontale cylindrique à deux bouilleurs.	Depuis longtemps on avait remarqué un suintement à la surface inférieure du bouilleur de droite sans y attacher d'importance. En pleine marche, le bouilleur s'est ouvert sans explosion, au tiers de la longueur du côté du foyer.	Néant.

OBSERVATIONS CRITIQUES 10	CAUSES DE L'EXPLOSION suivant L'ADMINISTRATION 9
Une réparation a été faite à la chaudière. Cette réparation résiste, elle n'est donc pas la cause de l'accident. Mais l'essai semble avoir détérioré la chaudière elle-même qui paraît alors dans un état inquiétant et qui éclate trois jours après l'épreuve. Il n'est guère possible de douter de l'influence néfaste de l'épreuve officielle sur l'explosion de cet appareil.	Plusieurs défauts de construction. Remise en service de l'appareil après une tentative d'épreuve qui avait montré qu'il était dans un état inquiétant.
Nous n'apercevons aucun défaut de construction. La surélévation de pression, aurait déchiré la chaudière; elle n'a pas été constatée et n'est pas nécessaire pour expliquer l'explosion. Il nous semble suffisamment démontré, ainsi que nous l'avons expliqué dans notre étude, que les boulons avaient été serrés à outrance, lors de l'épreuve opérée le 8 octobre, et faite sans succès précisément à cause des fuites au joint amovible. La tige ou les filets des boulons, détériorés par ce serrage, opéré sans doute jusqu'à refus, ont cédé dans la suite.	Accident paraissant devoir être attribué à la fois à une élévation accidentelle de pression, rendue possible par le fait que les soupapes de sûreté étaient paralysées; à des vices de construction de la chaudière et à un manque de précaution dans le serrage du joint amovible qui en réunissait les deux parties.
Les essais des tôles ont donné les résultats suivants : Résistance en long. . . . . . . 25 à 39 kil.; Résistance en travers. . . . . 25 à 36 kil.; Allongement proportionnel, 3,5 °/o. Ces tôles étaient évidemment de qualité inférieure, et, puisqu'il existe des règlements préventifs, il est regrettable que ces règlements ne contiennent aucune prescription relative à la qualité des tôles que l'administration donne ici comme cause de l'explosion. Cependant ces tôles étaient suffisamment résistantes, mais le coefficient d'allongement indique une faible limite d'élasticité. On peut donc être assuré que lors de l'épreuve officielle du 22 juillet 1890 qui a précédé de 7 mois seulement l'explosion, épreuve renouvelée par le propriétaire dans l'hiver de 1890-91, soit quelques mois seulement avant l'accident, la limite d'élasticité du métal a été dépassée. Ces épreuves, qui n'ont révélé aucun défaut de la tôle, n'ont donc servi qu'à détériorer le métal et ont ainsi préparé sinon provoqué l'explosion.	L'explosion doit vraisemblablement être attribuée : 1° A la mauvaise qualité des tôles de la chaudière; 2° A son mauvais état général occasionné peut-être par les gelées de l'hiver et consécutif à un défaut d'entretien.
Pour qu'en pleine marche le bouilleur se soit ouvert sans explosion, il a fallu que la tôle fût de bonne qualité. L'existence d'un défaut spécial est probable; ce défaut, non révélé par l'épreuve officielle, a sans doute été aggravé par elle, et a donné lieu aux suintements constatés par l'industriel, mais dont il ne pouvait apprécier le danger, sa chaudière ayant bien résisté à l'essai et ayant été acceptée et timbrée par l'Administration.	Défaut spécial de la tôle, qui dans son ensemble était de qualité médiocre, et principalement négligence dans la surveillance de l'appareil.

DATE de L'EXPLOSION 1	DATE de la CONSTRUCTION 2	DATES des ÉPREUVES 3	TEMPS ÉCOULÉ depuis la dernière ÉPREUVE 4	INDUSTRIE et LOCALITÉS 5	NATURE de L'APPAREIL 6	CIRCONSTANCES de L'EXPLOSION 7	CONSÉQUENCES de L'EXPLOSION 8
N° 5			**III. — ÉPAISSEUR INSUFFISANTE DES TOLES**				
2 décembre 1883	»	Août 1883	**4 mois**	Chantier de bois à Paris.	Chaudière verticale à foyer intérieur et tubes bouilleurs croisés.	Pendant le repos du milieu de la journée, la chaudière a fait explosion, ses nombreux débris ont été projetés à plus de 40^m de distance. L'enveloppe extérieure avait presque entièrement disparu. Le foyer intérieur était intact.	Dégâts matériels peu importants.
N° 6							
13 février 1884	»	Septembre 1883	**5 mois**	Entreprise de vidanges à Paris.	Chaudière verticale à tubes Field.	Tout l'appareil, sauf les roues, a été lancé en l'air, à 6 ou 7 mètres, pour retomber sur un lit au premier étage en enfonçant le toit. Le foyer déformé était arraché de sa base sur la moitié environ de son contour. Le ciel du foyer s'est déchiré.	Chaudière détruite, mécanicien brûlé. Une personne au 1er étage de la maison a été grièvement blessée.
N° 7							
3 décembre 1884	»	Juin 1884	**6 mois**	Fabrique de caisses d'emballage à Carcassonne.	Chaudière horizontale à foyer amovible	Le fond du corps cylindrique s'est détaché et a été retrouvé à côté du reste de la chaudière, le tout projeté à 6^m de distance après avoir détruit une partie du mur.	3 personnes blessées. Dégâts matériels considérables.
N° 8							
24 juin 1889	1863	27 février 1889	**4 mois**	Tissage à Vieux-Moulins (Vosges).	Récipient cylindrique formé de trois feuilles de cuivre réunies par des brasures en laiton ; la paroi cylindrique était soudée à l'étain.	La paroi cylindrique s'est ouverte suivant une ligne peu différente d'une génératrice et s'est détachée des fonds sur un peu plus du tiers de leur circonférence.	Dégâts matériels peu importants.
N° 9			**IV. — RIVURE DÉFECTUEUSE**				
26 août 1886	»	Juin 1886	**2 mois**	Locomobile au château de Passy (Yonne).	Chaudière tubulaire à foyer intérieur vertical.	Pendant un arrêt, l'enveloppe extérieure du foyer et du corps cylindrique s'est rompue en plusieurs fragments.	7 personnes blessées. Dégâts matériels considérables.

CAUSES DE L'EXPLOSION suivant L'ADMINISTRATION 9	OBSERVATIONS CRITIQUES 10
Qualité défectueuse et faible épaisseur des tôles de l'enveloppe extérieure. Très probablement excès de pression.	Si l'épreuve avait quelque valeur, elle aurait dû révéler la faible épaisseur des tôles ; ce n'est pas en quatre mois de marche que cette épaisseur a pu diminuer de manière à produire une explosion. Avec cette faiblesse et cette mauvaise qualité des tôles, l'épreuve a sans nul doute dépassé la limite d'élasticité du métal et l'explosion a pu se produire sans que la pression se soit élevée au-dessus de celle du timbre.
Mauvaise conduite du feu et défaut de résistance de la tôle non entretoisée du foyer.	Nous connaissons cet accident et nous avons vu la chaudière déchirée. La rivure du bas portait des cassures ayant pu être produites ou augmentées pas l'épreuve officielle récente. Ces cassures sont la cause de l'explosion. Demander qu'un foyer cylindrique, de faibles dimensions, soit entretoisé avec son enveloppe également cylindrique, ce serait supprimer, sans nécessité, la facilité de faire certaines réparations. L'Ingénieur des Mines avait donné, comme cause de l'explosion, l'inflammation subite des gaz distillés dans le foyer. La Commission centrale a dû supprimer cette cause, mais a conservé la mauvaise conduite du feu qui n'a eu cependant aucune influence sur l'explosion, et qui n'avait été mentionnée par l'Ingénieur que pour expliquer l'inflammation des gaz.
Faible épaisseur et mauvais état de la tôle du fond presque plat du corps cylindrique	L'épreuve officielle à haute pression est bien de nature, en agissant sur un fond presque plat et de faible épaisseur, à détériorer la rivure qui le maintient et à augmenter les fissures que des flexions successives avaient pu produire au congé.
Epaisseur insuffisante des tôles de cuivre qui constituent la paroi cylindrique; [illegible] défectueux des cercles de renfort de cette paroi. Les chocs produits par ces cercles ont augmenté la fatigue résultant de la pression intérieure et les deux effets ont fini par amener la rupture du tambour en raison de sa trop faible épaisseur.	Les conditions d'établissement de ce récipient rendaient dangereuse toute pression un peu élevée. Très probablement il fonctionnait à une tension des plus faibles, puisqu'on en a fait usage pendant 26 ans sans avaries. Mais l'épreuve survenant a détérioré les brasures ou soudures qui n'ont aucune élasticité, et peu de temps après, sans surélévation de pression, l'appareil éclatait.
Accident dû vraisemblablement à un excès de pression. Les rivets étaient trop rapprochés les uns des autres eu égard à leur diamètre.	On n'a relevé aucun indice pouvant justifier un excès de pression. La rivure était défectueuse, la réserve entre rivets trop faible, des cassures pouvaient, par suite de cette circonstance, exister avant l'épreuve à haute pression qui a pu les augmenter ou en produire d'autres qui ont provoqué l'explosion deux mois après.

DATE de L'EXPLOSION 1	DATE de la CONSTRUCTION 2	DATES des ÉPREUVES 3	TEMPS ÉCOULÉ depuis la dernière ÉPREUVE 4	INDUSTRIE et LOCALITÉS 5	NATURE de L'APPAREIL 6	CIRCONSTANCES de L'EXPLOSION 7	CONSÉQUENCES de L'EXPLOSION 8
N° 10			**V. — MAUVAIS ÉTAT ANTÉRIEUR**				
25 décembre 1883	»	»	**Moins d'un an**	Bateau "Coligny" à La Rochelle.	Chaudière cylindrique tubulaire à faces avant et arrière planes et à retour de flammes.	Les faces d'avant et d'arrière se sont déchirées le long des lignes de rivets qui les reliaient à l'enveloppe cylindrique; cette dernière s'est développée en totalité.	4 personnes blessées; bateau disloqué.
N° 11							
25 mars 1884	»	Février 1884	**1 mois**	Locomotive de terrassement à Corbigny (Saône-et-Loire).	Chaudière de forme locomotive.	La joue droite du foyer s'est emboutie vers l'intérieur en se déchirant.	2 ouvriers blessés.
N° 12			**VI. — DÉFAUT DE RÉSISTANCE**				
4 octobre 1888	»	21 septembre 1888	**13 jours**	Teinturerie à Roanne.	Récipient cylindrique horizontal.	L'appareil a été présenté à l'épreuve légale dans des conditions absolument différentes de celles où il devait fonctionner.	Propriétaire tué.

CAUSES DE L'EXPLOSION suivant L'ADMINISTRATION 9	OBSERVATIONS CRITIQUES 10
Mauvais état de la chaudière.	Le mauvais état de la chaudière, non révélé par l'épreuve officielle, a dû être aggravé par la forte pression de l'essai. Et c'est, sans doute, cette circonstance qui a déterminé la déchirure de la rivure produisant l'explosion.
Diverses défectuosités et détérioration des parties rompues. Cause déterminante possible: Choc produit par tamponnement contre un wagon pour le refouler.	Lorsque, par suite d'une pression élevée, une chaudière est près d'atteindre sa charge de rupture, un choc violent peut évidemment provoquer l'explosion. Cette circonstance a pu s'ajouter ici au mauvais état de l'appareil; les défectuosités et la détérioration des parties rompues, non révélées par l'épreuve officielle, et probablement aggravées par elle, suffiraient à expliquer l'accident. D'ailleurs, les foyers de ces chaudières sont généralement entretoisés avec la boite à feu, et la joue du foyer n'a pu céder sans briser les entretoises. Il est probable que, sous l'action de la haute pression d'épreuve, une ou plusieurs de ces entretoises se sont cassées, entraînant la rupture du foyer *un mois après !* le choc aidant.
Accident dû surtout à l'insuffisance de la porte de fermeture du récipient eu égard à sa forme, à ses dimensions et au timbre de l'appareil.	Cet accident révèle une supercherie plus usitée qu'on ne le suppose. Certains appareils sont consolidés, au moment de l'essai, par des armatures provisoires qu'on enlève, l'épreuve terminée. Nous pouvons citer, notamment, certaines chaudières à foyer amovible, d'un fort diamètre, dont la face antérieure est munie de tubes sur toute sa circonférence. La difficulté de rendre le joint étanche sous la pression d'épreuve, ainsi que le peu de solidité de la réserve métallique entre les trous des tubes engagent le constructeur à relier par une entretoise provisoire les fonds du foyer et de l'enveloppe. Doit-on blâmer ces agissements ? Doit-on condamner l'épreuve ? L'essai à haute pression ne pouvant réellement qu'avarier la chaudière, cet usage ne nous paraît pas répréhensible. Voici, au sujet de cette explosion, une des conclusions de M. Bour, Ingénieur en Chef de l'Association Lyonnaise: « L'essai officiel par pression hydraulique a imposé à la tôle un travail « excessif et a pu amorcer des ruptures. Il n'est du reste pas étonnant « qu'après avoir subi l'essai par pression hydraulique à 6 kil., le 21 septembre 1888, l'appareil ait fait explosion à 3 ou 4 kil. de pression le 4 « octobre. De trop nombreux exemples nous montrent combien les épreuves « par pression hydraulique offrent peu de garantie au point de vue de la « sécurité. « Nous trouvons, dans l'accident qui a coûté la vie à M. Ferlat, une « preuve de plus de l'insuffisance de ces épreuves. »

DATE de L'EXPLOSION 1	DATE de la CONSTRUCTION 2	DATES des ÉPREUVES 3	TEMPS ÉCOULÉ depuis la dernière ÉPREUVE 4	INDUSTRIE et LOCALITÉS 5	NATURE de L'APPAREIL 6	CIRCONSTANCES de L'EXPLOSION 7	CONSÉQUENCES de L'EXPLOSION 8
VII. — USURE EXCEPTIONNELLE							
N° 13							
9 mai 1886	1864	Août 1885	**9 mois**	Raffinerie de sucre à Marseille.	Chaudière cylindrique à deux bouilleurs.	Le bouilleur de droite s'est déchiré à sa partie supérieure, au voisinage du premier cuissard.	Dégâts maté[riels] peu im[portants].
N° 14							
20 octobre 1884	»	Novembre 1883	**11 mois**	Fabrique de draps à Lodève.	Chaudière horizontale cylindrique avec deux bouilleurs.	Le bouilleur de gauche s'est déchiré suivant une sorte de trapèze parallèlement aux génératrices avec un développement de $0^m,95$ suivant la circonférence.	Brûlures [et] dégâts pe[u] importants.
N° 15							
13 mars 1880	1872	avril 1879	**11 mois**	Bateau "La Colomba" Port de Bône.	Chaudière à faces latérales planes avec fonds supérieurs et inférieurs cylindriques. Deux foyers intérieurs et un retour de flammes tubulaire.	Le fond inférieur s'est ouvert sur toute sa longueur qui est de $3^m,14$. La fente produite avait 12 à 15 centimètres de largeur en moyenne. La déchirure suivait une ligne de rivets sur $1^m,05$, puis la rencontre d'une plaque de renfort l'avait déviée le long d'une ligne de boulons de cette plaque; enfin elle reprenait la direction de la ligne de rivets jusqu'à l'autre bout de la chaudière.	13 personne[s] tuées; 171 [bles]sées.
N° 16							
11 décembre 1886	»	Février 1886	**10 mois**	Mines de la Béraudière (Loire).	Chaudière cylindrique horizontale reliée à un bouilleur réchauffeur latéral.	La machine était au repos, le corps cylindrique s'est rompu au droit du foyer et de l'autel. Une déchirure prend $2^m,10$ de la clouure latérale de droite de la première virole; de ses deux extrémités partent deux déchirures en pleine tôle qui intéressent tout le berceau supérieur du corps cylindrique jusqu'à la clouure latérale de gauche.	2 chauffeur[s] blessés; dé[gâts] matéri[els] importants.

CAUSES DE L'EXPLOSION suivant L'ADMINISTRATION 9	OBSERVATIONS CRITIQUES 10
…sure exagérée subie par la partie …érieure des tôles des bouilleurs au …t de l'autel du foyer. …tte usure peut être rapportée avec …que vraisemblance à l'action mécani… prolongée des poussières provenant …oyer et de la démolition partielle de … voûte du carneau inférieur, en un …nt où les flammes rencontrant cette … partiellement démolie produisaient …urbillon avant de se diriger tangen…ement au carneau.	Le dégagement de la vapeur par les cuissards d'une chaudière à bouilleurs est toujours contrarié, il se forme généralement, à la partie supérieure du bouilleur, un ciel de vapeur. — Lorsqu'un des cuissards est très rapproché de l'autel, surtout avec l'usage d'une voûte en maçonnerie, la tôle est surchauffée, elle se corrode et se fissure. — Sous l'action de la pression d'épreuve, et en raison de la diminution d'épaisseur due à la corrosion, les défectuosités existantes ont dû s'aggraver et la tôle s'est ouverte peu de temps après. — Cette action de la chaleur sur la partie des bouilleurs dont il est ici question est bien connue et a été bien étudiée ; on comprend difficilement que l'Ingénieur ait pu attribuer cet accident à une action mécanique prolongée en un endroit où la tôle est toujours recouverte d'un dépôt de suie ou de poussière.
…mincissement de la tôle.	Cet amincissement de la tôle, capable de produire une explosion, eût été révélé par l'épreuve, faite quelques mois avant l'accident, si ces essais avaient un peu de valeur. Mais il est bien probable que, en raison de cette faible épaisseur, la limite d'élasticité du métal a été dépassée, lors de cette opération, et la tôle s'est déchirée peu de temps après.
…tat d'extrême usure et de corrosion …érieure et extérieure des parties basses … la chaudière.	On comprend difficilement que, dans l'état d'extrême usure où se trouvait la chaudière, elle n'ait pas cédé sous l'action de la pression d'épreuve qui, sans nul doute, l'a détériorée et a été la cause première de ce terrible accident qui, quelques mois seulement après, a fait 30 victimes.
…cident dû vraisemblablement à un …ut d'alimentation. … corps cylindrique présente le carac… d'une usure et d'une fatigue exception…es.	Contrairement à l'avis de l'Ingénieur des Mines, nous pensons que l'importance de l'accident enlève toute vraisemblance à un défaut d'alimentation qui n'a pas été constaté et que rien ne justifie. Le caractère d'usure et de fatigue exceptionnelles du corps cylindrique qui s'est rompu, placé immédiatement au-dessus du foyer, montre qu'il était soumis à de puissants efforts dus aux dilatations inégales. Ces défauts ont été aggravés par l'épreuve, et, quelques mois après, la chaudière a cédé.

DATE de L'EXPLOSION 1	DATE de la CONSTRUCTION 2	DATES des ÉPREUVES 3	TEMPS ÉCOULÉ depuis la dernière ÉPREUVE 4	INDUSTRIE et LOCALITÉS 5	NATURE de L'APPAREIL 6	CIRCONSTANCES de L'EXPLOSION 7	CONSÉQUENC[ES] de L'EXPLOSIO[N] 8
N° 17							
15 juin 1883	»	6 avril 1883	2 mois	»	Chaudière ordinaire à 2 bouilleurs inférieurs et un réchauffeur latéral.	A la pression de marche de 5 kil. le bouilleur réchauffeur s'est ouvert à la partie de la troisième virole transversale.	Non ind[i]quées.
N° 18				**VIII. — CORROSIONS**			
27 octobre 1889	1880	4 juin 1889	4 mois	Bateau à vapeur à la Goulette (Tunisie).	Récipient sécheur de vapeur composé de deux parties cylindriques verticales concentriques réunies en haut et en bas par deux fonds plats horizontaux ayant la forme d'anneaux circulaires.	Déchirures de la paroi intérieure un peu au-dessus de l'orifice d'entrée de la vapeur. La partie de la tôle correspondant à l'ouverture produite s'est divisée en trois morceaux inégaux, qui se sont repliés vers le dedans de la cheminée. Six entretoises ont été arrachées ; elles étaient rongées ou présentaient d'anciennes cassures.	Un chauff[eur] tué ; de[ux] autres chau[f]feurs et de[ux] soutiens gr[iè]vement brû[lés] (un seul d'e[n]tre eux a su[r]vécu).
N° 19							
14 septembre 1890	1874	10 février 1890	7 mois	Usine élévatoire à Saint-Marc (Finistère).	Chaudière horizontale à 2 bouilleurs.	Aucune réparation notable depuis l'origine.	Chauffe[ur] assez griè[ve]ment brûlé
N° 20							
17 mai 1890	1880	22 mai 1889	Un an	Bateau à vapeur à Marseille.	Chaudière cylindrique.	Rupture de l'enveloppe en un grand nombre de fragments.	8 ouvri[ers] blessés don[t] mortelleme[nt]. Dégâts ma[té]riels ass[ez] considérabl[es]

CAUSES DE L'EXPLOSION suivant L'ADMINISTRATION 9	OBSERVATIONS CRITIQUES 10
Usure exceptionnelle de la tôle qui est réduite à l'épaisseur d'une feuille papier à l'endroit de l'accident. En outre, ce réchauffeur présentait assez fortes corrosions à la partie inférieure des rivures transversales.	Ce générateur fut soumis à l'essai décennal le 6 avril 1883, deux mois avant l'accident, l'épreuve réussit et la chaudière fut timbrée par le service des Mines. *Cette explosion, citée par M. Cornut, ne figure pas sur les relevés officiels.*
Corrosions intérieures qui, dans la partie basse de l'appareil, avaient aminci les tôles en contact avec les gaz chauds au point de ne plus leur laisser, à certaines places, qu'une épaisseur insignifiante.	Cette épaisseur insignifiante de la tôle corrodée, bien capable de produire une explosion, eût été révélée par l'épreuve officielle faite quatre mois avant l'accident, si ces épreuves avaient quelque valeur. Il n'est pas douteux que, par suite de cette faible épaisseur, la limite d'élasticité du métal a été dépassée lors de l'essai à haute pression, et la tôle s'est déchirée très peu de temps après.
Corrosions à l'endroit où la tôle du bouilleur a été percée.	Même observation que pour le cas précédent.
État défectueux de l'enveloppe, les tôles étaient fatiguées, de nature aigre et fortement amincies à certaines places par les corrosions locales, ce qui explique qu'elles aient cédé lorsque la pression s'est élevée accidentellement dans la chaudière, tout en restant *notablement* au-dessous de la limite fixée par le timbre.	Il serait difficile de comprendre qu'une chaudière puisse faire explosion sous une pression *notablement* inférieure à la limite fixée par le timbre, alors que cette chaudière a été éprouvée au double de cette pression quelques mois auparavant, si l'on ne savait pas que la haute tension de l'épreuve peut dépasser la limite d'élasticité du métal, en détériorant la tôle et en provoquant ou tout au moins en préparant l'explosion.

DATE de L'EXPLOSION 1	DATE de la CONSTRUCTION 2	DATES des ÉPREUVES 3	TEMPS ÉCOULÉ depuis la dernière ÉPREUVE 4	INDUSTRIE et LOCALITÉS 5	NATURE de L'APPAREIL 6	CIRCONSTANCES de L'EXPLOSION 7	CONSÉQUENCES de L'EXPLOSION 8
N° 21			**IX. — DÉFAUT D'ENTRETIEN**				
22 septembre 1886	»	juin 1886	**3 mois**	Usine d'alimentation d'eau à Issauka (Hérault).	Chaudière horizontale cylindrique avec deux réchauffeurs latéraux superposés.	La troisième virole du réchauffeur inférieur s'est déchirée; les deux premières viroles avec le cuissard et le réchauffeur supérieur ont été projetés à douze mètres; l'extrémité arrière du réchauffeur a été retrouvée dans les débris de la devanture du fourneau.	Dégâts ... tériels ... considéra...
N° 22			**X. — FENTES ET FISSURES PRÉALABLES**				
17 juillet 1879	»	1878	**Moins d'un an**	Chemin de fer de l'Ouest, à Caen.	Locomotive. Calotte en fonte du dôme terminée à sa base par une collerette ou bride qui s'assemble sur celle du dôme par un joint.	La cassure s'est produite au-dessus de la collerette enlevée elle-même sur une longueur de 22 centimètres. Dans la cassure on remarque une fente ancienne qu'il était difficile, peut-être impossible de découvrir ; une épreuve n'aurait sans doute pas provoqué la rupture. La calotte avec son enveloppe et les soupapes ont été projetées presque verticalement.	Un hom... tué.
N° 23							
21 janvier 1881	»	1880	**Moins d'un an**	Bateau (Seine-Inférieure).	Chaudière cylindrique horizontale à foyer intérieur avec tubes de retour.	Une cornière d'assemblage était fendue depuis un certain temps. Cette fente s'est agrandie rapidement le jour de l'accident en produisant une fuite; sous l'action d'une forte pression il y a eu rupture de la cornière.	Chauffeur ...
N° 24							
22 octobre 1883	»	1883	**Moins d'un an**	Menuiserie à Boulogne-sur-Mer.	Chaudière verticale à foyer intérieur.	Chaudière lancée à 25 mètres avec déchirure à la porte du foyer.	Ouvri... blessé.

CAUSES DE L'EXPLOSION suivant L'ADMINISTRATION 9	OBSERVATIONS CRITIQUES 10
[illegible]faut d'entretien et de visite intérieure [illegible]née.	Les défauts d'entretien et de visite intérieure soignée sont des négligences qui ont eu sans doute une influence sur l'explosion ; cependant l'épreuve faite trois mois seulement avant l'accident est, d'après le règlement, le meilleur entretien courant, et des visites intérieures pouvaient paraître superflues, momentanément du moins, après cette épreuve qui avait constaté la solidité de l'appareil, ainsi que le prétend l'administration. Aucune cause immédiate n'est donnée par les rapports officiels, mais elle ne nous paraît pas douteuse : les tôles de la partie des réchauffeurs la plus éloignée du foyer ont dû être corrodées par les produits de la combustion et l'action du matelas d'air ; la limite d'élasticité de la tôle ainsi amoindrie a pu être dépassée lors de l'épreuve, et l'explosion a eu lieu trois mois après.
Fente existant au-dessus de la colle-[illegible]tte, à la naissance de la partie hémi-[illegible]phérique du dôme en fonte et pression [illegible] énergique des boulons d'assemblage [illegible] tendaient à détacher la collerette sur [illegible] de sa circonférence ; car la base du [illegible] s'appuyait sur un cercle en cuivre [illegible] à garnir le joint, et la collerette [illegible]trouvait pressée en porte à faux.	Nous admettons bien que l'épreuve n'aurait pas produit la rupture, mais nous pensons que celle opérée en 1878, moins d'un an avant l'accident, a amorcé cette rupture qui a causé l'explosion.
Maintien en pression d'une chaudière [illegible]sentant une fuite dangereuse.	Les fentes ou fissures, une fois commencées, se continuent jusqu'à cassure, si on ne les arrête à temps. Nous avons examiné, dans notre étude, comment elles débutent. — La haute pression d'épreuve réglementaire provoque aussi ces fentes ou les agrandit et souvent achève certaines cassures, notamment celles entre rivets. Malgré ces avaries, la pression d'épreuve est atteinte et la chaudière timbrée ; mais ces fentes persistent, se prolongent et finissent par provoquer une explosion. C'est ce qui paraît avoir eu lieu pour cet accident.
Insuffisance d'épaisseur et défaut de [illegible] tôle légèrement fissurée en un point [illegible] le métal paraissait mal soudé.	Même observation que pour l'explosion précédente.

DATE de L'EXPLOSION 1	DATE de la CONSTRUCTION 2	DATES des ÉPREUVES 3	TEMPS ÉCOULÉ depuis la dernière ÉPREUVE 4	INDUSTRIE et LOCALITÉS 5	NATURE de L'APPAREIL 6	CIRCONSTANCES de L'EXPLOSION 7	CONSÉQUENC de L'EXPLOSIO 8
N° 25							
31 juillet 1886	»	Novembre 1885	**8 mois**	Drague à Dieppe.	Chaudière à foyer intérieur.	Pendant un arrêt, l'enveloppe intérieure s'est rompue; sa partie supérieure, avec le dôme pesant environ 1,000 kilogr., a été projetée à 100 mètres.	4 tués, blessés, dégâ considérabl
N° 26							
14 août 1886	1870	22 avril 1886	**4 mois**	Houillères à Montrambert (Loire).	Chaudière horizontale cylindrique avec réchauffeur latéral.	Le bouchon de fonte du réchauffeur a été violemment projeté.	Un ouvri blessé, dégâ matériels i portants.
N° 27							
31 mars 1883	1859	4 avril 1882	**Moins d'un an**	Forges de Marnaval.	Chaudière verticale cylindrique chauffée par les flammes perdues.	La chaudière s'est divisée en plusieurs morceaux qui ont été lancés dans toutes les directions.	30 mort 61 blessé Dégâts impo tants.
N° 28							
10 novembre 1884	1859	janvier 1884	**10 mois**	Forges d'Eurville.	Chaudière verticale cylindrique chauffée par les flammes perdues.	Le corps de chaudière fut projeté à 80 mètres.	22 mort 33 bless Dégâts i portants.

CAUSES DE L'EXPLOSION suivant L'ADMINISTRATION 9	OBSERVATIONS CRITIQUES 10
Longue fissure préexistante intéressant une des tôles latérales de l'enveloppe extérieure, le long de la rivure entre cette tôle et le berceau cylindrique supérieur. Métal et rivetage défectueux. Négligence dans l'usage.	Même observation.
Malfaçon de la rivure qui réunissait le fond en fonte au réchauffeur. Sur le flanc gauche du bouchon il existait une ancienne cassure s'étendant sur l'espace compris entre 25 rivets et intéressant près de la moitié de la circonférence.	Dans une étude sur les accidents dus à la rupture de bouchons en fonte, M. Cornut examine cette explosion et constate que les cassures « existaient « avant l'essai réglementaire qui n'a nullement révélé ces défauts si graves « dans leurs conséquences et a pu au contraire les aggraver considérable- « ment ».
Affaiblissement de la tôle du coup de feu non protégée.	La cause de cette catastrophe qui a fait 91 victimes n'a pas été parfaitement déterminée. Dans le rapport qu'il a rédigé à ce sujet, M. l'Ingénieur en chef Trautmann a examiné comment on pouvait appliquer à cette explosion toutes les causes connues sans réussir à en trouver une bien appropriée à l'accident. Celle que nous produisons, donnée par la Commission Centrale des Machines à vapeur, est bien vague. Nous pensons que, par suite de la surchauffe des tôles produite par la haute température d'un feu de forge très violent, en présence des amas de vapeur longeant la paroi verticale, le métal s'est fissuré, corrodé et fendu. Ces avaries ont dû s'aggraver sous la tension de l'épreuve officielle faite le 4 avril 1882, puis continuer leur marche progressive pour finir par produire une déchirure générale.
Conditions défectueuses d'établissement et de fonctionnement. Fissures importantes. Rivures défectueuses.	L'explosion d'Eurville est due très vraisemblablement à la même cause que celle de Marnaval. Les chaudières détruites dans ces deux forges étaient absolument semblables et construites à la même époque, par le même chaudronnier. Il est très remarquable que ces deux accidents se soient produits au bout d'un même laps de temps après l'épreuve réglementaire.

DATE de L'EXPLOSION 1	DATE de la CONSTRUCTION 2	DATES des ÉPREUVES 3	TEMPS ÉCOULÉ depuis la dernière ÉPREUVE 4	INDUSTRIE et LOCALITÉS 5	NATURE de L'APPAREIL 6	CIRCONSTANCES de L'EXPLOSION 7	CONSÉQUENCES de L'EXPLOSION 8
N° 29	**XI. — ENTRETOISES CASSÉES PRÉALABLEMENT**						
7 février 1882	»	»	**Moins d'un an**	Bateau "Ravensdown" à Rochefort.	Chaudière cylindrique à deux foyers intérieurs à retour de flammes tubulaire. Boite à feu commune aux deux foyers. Face arrière par tôle emboutie sur les bords.	En marche, une ouverture elliptique s'est faite à la partie inférieure de la face arrière de la chaudière.	2 hommes tués ; 2 autres brûlés.
N° 30							
19 mai 1886	1879 pour le timbre de sept kilogr.	juin 1885 pour le timbre de 9 kil. — 14 novembre 1885	**6 mois**	Bateau "Le Tape dur" à Bougival.	Chaudière horizontale cylindrique tubulaire à foyer intérieur.	Toute la bande de tôle constituant les faces latérales et le berceau de l'enveloppe du foyer a été projetée à 80m de distance du bâbord. De nombreux débris ont été projetés en tous sens.	2 hommes tués ; 4 blessés ; bateau mis en pièces.
N° 31	**XII. — RUPTURE DE TUBES**						
20 avril 1879	»	La veille de l'accident	**1 jour**	Bateau "l'Abeille n° 2" à Dunkerque.	Chaudière tubulaire, tubes de laiton de 6 centim. de diamètre.	Un des tubes de laiton de la rangée supérieure s'est ouvert sur 15 centimètres de longueur, le demi-cylindre supérieur était enlevé, la partie inférieure n'était pas déformée. Ce tube qui s'est brisé sous une pression de 4 à 5 atmosphères avait fonctionné la veille encore à 6 atmosphères et avait supporté la même pression pendant une tentative d'épreuve.	Chauffeur mort des suites de ses blessures.

CAUSES DE L'EXPLOSION suivant L'ADMINISTRATION 9	OBSERVATIONS CRITIQUES 10
Amincissement de la tôle de l'enveloppe avec rupture préalable de plusieurs entretoises de la lame d'eau.	Les entretoises qui consolident l'une par l'autre deux parties planes qui se font face, se cassent, même sous l'action de la pression ordinaire, quand l'usage ou la corrosion les ont rendues trop faibles. Mais cette rupture a lieu, le plus souvent, lors des épreuves. Nous connaissons un service de bateaux à vapeur où chaque épreuve était accompagnée du bris d'une ou de plusieurs entretoises, sans que cet accident empêchât d'atteindre la tension maxima réglementaire. Il nous paraît bien probable qu'il en a été ainsi pour la chaudière dont il est ici question ; l'épreuve officielle serait ainsi la cause première de l'explosion, survenue moins d'un an après.
Rupture préalable et déjà ancienne de cinq entretoises juxtaposées sur la face plane latérale de gauche de l'enveloppe du foyer. Cette rupture a isolé une vaste surface plane de l'enveloppe et a favorisé l'arrachement consécutif.	L'observation précédente s'applique d'autant mieux à cette explosion que, après un usage de six ans, et contrairement à la prudence, le propriétaire avait fait timbrer à 9 kilogr. une chaudière construite pour fonctionner à 7. Un règlement qui tolère de pareilles imprudences est dangereux, et l'épreuve qui les consacre ne peut qu'être désastreuse.
État d'usure d'un tube dont l'épaisseur primitivement de 2 $^{m}/_{m}$ 5 avait été réduite à moins de 1 $^{m}/_{m}$. Peut-être a-t-il été surchauffé au moment de l'accident, ce qui a déterminé sa rupture sous une pression moindre que celle qu'il avait supportée la veille.	Selon toute probabilité, ainsi que nous l'avons expliqué dans notre étude, le tube affaibli avait été déformé par l'épreuve et n'a pu supporter le lendemain la pression à laquelle il avait résisté la veille. — Les Ingénieurs en chef des Associations ont fait figurer à l'Exposition universelle de 1889, sous le nº 239, des fragments d'un gros tube de retour qui s'est rompu peu après l'épreuve officielle. Voici du reste comment ils expliquent l'explosion : « On fit subir à ce générateur l'épreuve décennale officielle ; la chaudière « ayant été complètement démantelée pour cette opération, on ne remarqua « rien d'anormal dans les tôles ni dans les rivures. — Elle fit explosion « quelques jours plus tard. Il est probable que l'essai à froid a provoqué « quelques légères déformations du tube qui se seront accrues subitement et « aura occasionné l'accident. »

DATE de L'EXPLOSION 1	DATE de la CONSTRUCTION 2	DATES des ÉPREUVES 3	TEMPS ÉCOULÉ depuis la dernière ÉPREUVE 4	INDUSTRIE et LOCALITÉS 5	NATURE de L'APPAREIL 6	CIRCONSTANCES de L'EXPLOSION 7	CONSÉQUENCES de L'EXPLOSION 8
N° 32							
9 juin 1879	»	août 1878	**10 mois**	Bateau "La Ville d'Argenteuil" à Paris.	Chaudière cylindrique à foyer intérieur avec tubes de retour; 64 tubes en laiton.	Rupture de 10 tubes des trois rangées supérieures, la plupart cassés à la bague du côté de la plaque tubulaire d'arrière, quelques uns à une certaine distance, mais présentant une section aplatie et des fentes longitudinales indiquant un ramollissement préalable. L'un des deux tubes marquait, l'autre avait son tuyau d'eau obstrué et ne pouvait donner que des indications erronées. Robinets de jauge encrassés.	**Mécanic… mort d… suites de s… blessures.**
N° 33							
19 octobre 1886	»	avril 1886	**6 mois**	Bateau à vapeur à Thouaré (Loire-Inférieure).	Chaudière composée de 2 lames d'eau réunies par 145 tubes en fer de $1^m 200$ et $0^m 062$.	En marche, un tube surchauffeur de la quatrième rangée supérieure s'est brusquement déchiré sur $0^m 21$ de longueur.	**Chauff… brulé mor… lement, m… se assez g… vement, dég… nuls.**
N° 34							
9 octobre 1887	1884	1886	**Moins d'un an**	Bateau "Rouen" au Havre.	Chaudière tubulaire du système Oriolle. Au-dessus du niveau normal de l'eau, 3 rangées de tubes servant de sécheurs.	Le tube central de la troisième rangée, en partant du haut, s'est crevé dans sa partie centrale sous la cheminée.	**Le méca… cien et le c… feur ont r… des blessur… assez grave…**
N° 35							
16 octobre 1878	»	1878	**Quelques mois**	Bateau "Laurent Tertrais" port du Palais à Belle-Isle.	Chaudière du système Oriolle, comme la précédente.	Le quatrième tube de la deuxième rangée supérieure s'est rompu; il était réduit à l'épaisseur d'une feuille de papier sur toute sa longueur et présentait dans sa partie médiane deux déchirures, l'un de 10 centimètres, l'autre de 5 à 6.	**Mécanici… et chauffeur morts de leu… blessures.**
N° 36							
27 janvier 1886		juin 1885	**7 mois**	Forges du Creusot (Saône-et-Loire)	Chaudière verticale avec couronne de 16 tubes verticaux coudés et fixés sur les parois de la chaudière D = 0.08.	L'un des tubes calorifères s'est rompu à sa partie inférieure, au point où il était coudé pour se greffer sur le corps cylindrique. Déchirure carrée de 55 m/m de côté prenant naissance au coude extérieur où l'épaisseur de la tôle était très réduite.	**3 ouvri… mortellem… brûlés. Dégâ… matériels … signifiant…**

CAUSES DE L'EXPLOSION suivant L'ADMINISTRATION 9	OBSERVATIONS CRITIQUES 10
Abaissement anormal de l'eau. Appa-…s de niveau hors de service. Les tubes …s rangées supérieures ont été surchauffés …t n'ont pu résister à la pression …naire.	L'un des tubes de niveau donnait des indications, le niveau de l'eau pouvait au moment de l'accident n'être pas trop bas Le chauffeur a soutenu, jusqu'à sa mort, que la chaudière n'avait pas manqué d'eau. Si l'accident était dû à l'abaissement anormal de l'eau, tous les tubes de la rangée supérieure se seraient brisés ou déformés et non pas dix répartis sur les trois premières rangées. Il est bien plus naturel d'admettre que certains tubes, notamment ceux qui ont cédé, se trouvaient ordinairement plongés dans un amas de vapeur, par suite de la forte vaporisation et de la faible distance entre eux. Ces tubes, détériorés par la surchauffe et déformés sans doute par l'épreuve récente, ont cédé à la pression ordinaire, sous l'action de l'expansion subite des éléments liquides contenus dans la chaudière et provoquée par la rupture d'un seul d'entre eux.
Rupture d'un tube surchauffeur pro-…lement corrodé et à épaisseur réduite …plus des trois quarts le long de la …tie qui s'est rompue.	Ces tubes surchauffeurs paraissent, dans les conditions où ils se trouvent, soumis à une température suffisante pour décomposer la vapeur d'eau et produire une rapide corrosion. Réduits d'épaisseur, ils se déforment lors de l'épreuve à haute pression par la presse hydraulique et ne tardent pas à céder, à la suite de cet essai. C'est, sans aucun doute, ce qui est arrivé ici.
Accident paraissant provenir, en partie …moins, d'une insuffisance d'épaisseur …tube, refroidi seulement par un cou-…t de vapeur.	Même observation.
…paisseur tellement faible du tube par …port aux tubes voisins que l'on doit …ettre qu'il était déjà beaucoup plus …e que les autres quand il a été posé.	Même observation.
…sure excessive du métal due aux actions …miques et mécaniques exercées par le …rant des flammes.	La production de vapeur dans ces tubes placés dans le courant des flammes sortant des fours métallurgiques est énorme. Le dégagement étant contrarié par la haute colonne d'eau, cette vapeur forme, dans le coude inférieur, un amas qui facilite la surchauffe et par suite la corrosion des tubes. Préparée par l'épreuve officielle agissant sur ces parties affaiblies, la rupture s'est produite quelques mois après.

DATE de L'EXPLOSION 1	DATE de la CONSTRUCTION 2	DATES des ÉPREUVES 3	TEMPS ÉCOULÉ depuis la dernière ÉPREUVE 4	INDUSTRIE et LOCALITÉS 5	NATURE de L'APPAREIL 6	CIRCONSTANCES de L'EXPLOSION 7	CONSÉQU… de L'EXPLOS… 8
N° 37				**XIII. — INCRUSTATIONS**			
18 septembre 1887	»	14 septembre 1887	**4 jours**	Bateau "Rover" Ile d'Yeu.	Chaudière cylindrique horizontale tubulaire à retour de flammes surmontée d'un coffre de vapeur.	La chaudière a été déchirée sur 1m.50 de long suivant sa génératrice inférieure. Plusieurs criques et traces de brûlures sur la tôle. A l'intérieur dépôt de sel de 5 $^{m}/_{m}$ d'épaisseur dont les débris forment, à droite, et à gauche de la déchirure un amas feuilleté de 20 à 25 $^{m}/_{m}$ d'épaisseur.	**Le chauff… grièveme… brûlé.**
N° 38				**XIV. — MANQUE D'EAU PRÉSUMÉ**			
6 juin 1882	»	Septembre 1881	**9 mois**	Scierie à Beaufort.	Chaudière cylindrique.	La chaudière s'est rompue en nombreux fragments.	**Chauff… tué. Propr… taire bless…**
N° 39							
28 juillet 1878	»	1878 sans date	**Moins de 6 mois**	Battage de grains à Aussevielle (Basses-Pyrenées).	Locomobile chaudière à T.	Pendant une période de repos, le souffleur était resté en activité, l'eau s'est abaissée, la tension a augmenté et, après une légère alimentation l'explosion formidable s'est produite. La chaudière a été divisée en plus de 25 fragments dispersés de tous côtés. L'aspect de quelques fragments indique que le ciel du foyer a été à certains moments porté au rouge en même temps que d'autres parties de la chaudière placées dans son voisinage immédiat.	**Le mécan… cien lanc… 15 mètres… distance… broyé con… un mur ; … autres bles…**
N° 40							
7 septembre 1885	»	Août 1885	**1 mois**	Battage de grains à l'Aumondière (Manche).	Locomobile. Chaudière horizontale tubulaire. Capacité : 233 litres timbre 6 kil.	Déchirure à la partie supérieure du foyer intérieur. La boîte à fumée et diverses pièces ont été projetées à quelques mètres. Les charbons enflammés ont mis le feu à des bâtiments distants d'une vingtaine de mètres.	**3 person… légèrem… blessées, … gâts par … cendie con… dérables.**

CAUSES DE L'EXPLOSION suivant L'ADMINISTRATION 9	OBSERVATIONS CRITIQUES 10
Coup de feu résultant de l'accumulation des dépôts de sel dans le bas de la chaudière.	Les incrustations favorisent la surchauffe des tôles et provoquent, soit par le fait de cette surchauffe, soit par les dilatations inégales qu'elle produit, des fentes ou fissures dangereuses. Avec une épaisseur de sel de 5 m/m seulement, il faut un feu d'une violence extraordinaire pour donner le coup de feu. Il est plus rationnel d'admettre que la tôle avait déjà souffert antérieurement de ces incrustations, ainsi que l'indiquent les criques et fissures constatées par l'Ingénieur des Mines. Ces avaries ont été assurément aggravées par la haute pression de l'épreuve officielle, et la tôle a pu s'ouvrir quatre jours après cet essai, sans que le feu ait été plus poussé qu'à l'ordinaire.
Défaut d'alimentation.	Les détails font défaut, mais, vu l'importance de l'explosion qui a fait éclater la chaudière en nombreux fragments, on ne peut admettre que l'explosion soit due à un défaut d'alimentation. Le faible intervalle entre l'épreuve et l'accident indique une corrélation entre eux, que l'absence de détails ne permet pas d'approfondir.
Mauvaise conduite de la machine, on a laissé le niveau s'abaisser de manière à faire rougir le ciel du foyer et les parties avoisinantes; on surchargeait les soupapes et le manomètre était faussé.	Il y a méprise évidente de la part de l'Ingénieur. Cette explosion n'est pas due à un défaut d'alimentation. La force de l'explosion, les dégâts qui l'ont accompagnée, indiquent sûrement que l'appareil contenait beaucoup d'eau. Du reste, pour une chaudière de ce genre, si la partie supérieure du foyer avait été portée au rouge et avait cédé à ce moment, ce foyer se serait affaissé et non brisé. L'aspect de certains fragments peut indiquer que le ciel du foyer a été porté au rouge, antérieurement à l'accident, c'est possible, tout manque d'eau de cette nature n'est pas nécessairement suivi d'une explosion et sans doute, ce foyer, ainsi surchauffé, s'est fissuré ; l'épreuve récente a dû augmenter ces fissures, et très certainement ces avaries sont les causes de l'accident.
Défaut d'alimentation.	La très faible capacité totale de l'appareil, 233 litres seulement, exclut, en cas de rupture par suite de manque d'eau, par défaut d'alimentation, toute projection importante. Le défaut d'alimentation ne peut donc être, ici, la cause immédiate de l'explosion. Le peu d'intervalle entre l'épreuve officielle et l'accident montre suffisamment, en l'absence de toute indication sérieuse, l'influence de cet essai à haute pression sur l'explosion.

DATE de L'EXPLOSION 1	DATE de la CONSTRUCTION 2	DATES des ÉPREUVES 3	TEMPS ÉCOULÉ depuis la dernière ÉPREUVE 4	INDUSTRIE et LOCALITÉS 5	NATURE de L'APPAREIL 6	CIRCONSTANCES de L'EXPLOSION 7	CONSÉQUENCES de L'EXPLOSION 8
N° 41			**XV. — EXCÈS DE PRESSION PRÉSUMÉ**				
19 octobre 1891	1868	10 octobre 1891	**8 jours**	Tissage de coton à Bolbec	Cylindre sécheur d'encollouse en cuivre de 2 m/m d'épaisseur.	Le cylindre a éclaté en s'ouvrant de 0m,90 de long à la soudure dont l'épaisseur était réduite à 1 millimètre.	Dégâts matériels.
N° 42							
14 octobre 1879	»	1878	**Un an**	Moulin à Saint-Bonnet de-Cray (Saône-et-Loire).	Chaudière cylindrique horizontale à foyer intérieur. Timbre : 5 kil. Soupapes chargées pour 6k 8.	Le foyer intérieur s'est écrasé sur presque toute sa longueur ; il présente plusieurs déchirures notamment dans le voisinage du fond arrière dont il était arraché sur plus de la moitié de sa circonférence.	Une personne tuée ; mur du bâtiment renversé.
N° 43			**XVI. — CAUSES INDÉTERMINÉES**				
14 juin 1878	»	Mai 1878	**Un mois**	Bateau "l'Alsace" port de Bône	Chaudière horizontale à foyer intérieur avec tubes de retour.	Une fuite s'est déclarée dix minutes avant l'accident à l'une des portes autoclaves sur la face d'avant. L'enveloppe s'est déchirée horizontalement sur les deux flancs ; les débris ont été lancés au loin, divisés en plusieurs fragments. L'intérieur de la chaudière est resté presque intact.	3 hommes tués ; tout le pont du navire balayé par l'explosion ; plusieurs hommes renversés ou jetés à la mer.
N° 44							
24 mai 1880	»	»	**Cinq semaines**	Remorqueur "La Seine" à Ivry.	Chaudière tubulaire à foyer intérieur à façades latérales planes.	La plus grande partie de la chaudière restée en place ; ensemble légèrement disloqué avec quelques déchirures d'ailleurs à peine ouvertes. Deux fragments formant ensemble les deux faces latérales et le demi-cylindre qui recouvraient la totalité de la chaudière ont été projetés au loin, leurs entretoises n'ayant pas résisté.	Mécanicien mort ; bateau sombré.

CAUSES DE L'EXPLOSION suivant L'ADMINISTRATION 9	OBSERVATIONS CRITIQUES 10
L'explosion parait due à un excès de pression. Les soupapes n'ont pas suffi à empêcher la pression de monter, et la rupture du cylindre, favorisée par le mauvais état de la soudure, s'est produite lorsqu'on a augmenté l'ouverture du robinet-valve de la conduite de vapeur afin de mettre en fonction une encolleuse voisine.	Les règlements exigent que les récipients de vapeur soient munis d'une soupape de sûreté. L'appareil dont il s'agit en portait deux chargées pour la pression du timbre. La surélévation de pression au-dessus de ce timbre, qui n'a du reste pas été constatée, est donc fort problématique. Mais l'Ingénieur des Mines signale qu'au point de rupture l'épaisseur du métal était réduite à 1 millimètre. Si l'épreuve officielle, faite 8 jours seulement avant l'accident, avait eu la moindre valeur, elle aurait, assurément, révélé ce défaut. Mais la rupture ne s'étant pas produite lors de l'essai, la pression d'épreuve a assurément dépassé la limite d'élasticité du métal, qui a été détérioré et a pu céder quelques jours après sans que la pression ait dépassé celle du timbre.
Excès de pression : 7 kil. au lieu de la pression du timbre. L'épaisseur était déjà trop faible pour la pression du timbre.	L'Ingénieur des Mines estime que l'épaisseur du foyer était trop faible pour la pression de marche de 5 kil. ; il est donc probable que, sous l'action de la haute pression d'épreuve, ce tube-foyer s'est déformé et s'est rompu dans la suite, soit à la pression de marche, soit à une pression un peu supérieure facilitée par la surcharge des soupapes de sûreté.
Conditions incomplètement connues à cause de la mort des agents. On peut croire que la cause immédiate est l'absence de l'une des deux soupapes de sûreté et le mauvais état de la soupape unique qui a permis à la pression de s'élever outre mesure.	La surélévation de pression n'est rien moins que démontrée, la soupape a pu être faussée lors de l'explosion; il restait encore d'ailleurs le manomètre. Mais l'existence d'une fuite qui s'est déclarée dix minutes avant l'accident montre que la chaudière était fissurée, et, sans nul doute, l'épreuve officielle, faite un mois auparavant, avait pu provoquer ou tout au moins agrandir cette fissure qui a causé l'explosion.
Cause inconnue.	Si l'on admet que, lors de l'épreuve officielle qui a précédé de cinq semaines seulement l'accident, une ou plusieurs entretoises se soient cassées sous l'action de la haute pression, ce qui arrive souvent, comme nous l'avons expliqué dans notre étude, on y verra une cause presque certaine de cette explosion.

DATE de L'EXPLOSION 1	DATE de la CONSTRUCTION 2	DATES des ÉPREUVES 3	TEMPS ÉCOULÉ depuis la dernière ÉPREUVE 4	INDUSTRIE et LOCALITÉS 5	NATURE de L'APPAREIL 6	CIRCONSTANCES de L'EXPLOSION 7	CONSÉQUENCES de L'EXPLOSION 8
N° 45 29 mars 1883	»	Juin 1882	**9 mois**	Bateau "Nord" à Bordeaux.	Chaudière verticale à foyer intérieur et cheminée centrale.	Le fond supérieur, formé de deux tôles, a été embouti vers l'extérieur avec déchirure au point de jonction des deux tôles avec le corps cylindrique. Ce dernier s'est ovalisé vers le bas. Le foyer déchiré s'était replié à l'intérieur en quatre segments.	**Un homme tué ; dégâts matériels relativement considérables.**
N° 46 13 décembre 1881	»	1881	**Moins d'un an**	Exploitation agricole à Leudon (Seine-et-Marne).	Chaudière de locomobile.	Chaudière détruite : plusieurs fragments ont été lancés au loin.	**Un homme tué.**
N° 47 5 juillet 1882	»	Mars 1882	**4 mois**	Papeterie à Gadoncourt (Vosges).	Chaudière cylindrique à 2 bouilleurs.	Le bouilleur de droite présentait une déchirure à la ligne horizontale des rivets.	Néant.
N° 48 30 août 1882	»	»	**Moins d'un an**	Bateau "La Meuse" à Ajaccio.	Chaudière à trois foyers intérieurs et à tubes de retour.	Déchirures produites à la jonction du foyer avec la plaque verticale de la boîte à feu. Après ce déchirement, le foyer s'est considérablement affaissé.	**3 hommes tués.**
N° 49 16 janvier 1887	»	Mai 1886	**8 mois**	Elévation d'eau à Dijon.	Chaudière verticale à foyer intérieur avec 4 tubes bouilleurs horizontaux.	Rupture de l'enveloppe extérieure en trois fragments principaux projetés à 30, 100 et 180 mètres, savoir : les deux feuilles de tôle de l'enveloppe séparées l'une de l'autre et, d'autre part, le fond embouti supérieur avec son dôme de vapeur.	**Dégâts** purement **matériels.**
N° 50 21 décembre 1888	1869	Juillet 1888	**5 mois**	Fabrique de papiers à Angoulême.	Récipient cylindrique horizontal rotatif.	Le cylindre a donné trois fragments volumineux.	**Dégâts matériels assez considérables.**
N° 51 19 septembre 1888	1879	Août 1888	**1 mois**	Battage de grains à Fourg (Doubs).	Chaudière de locomobile cylindrique à foyer et tubes intérieurs. La grille était à 0,19 seulement au-dessous du foyer.	Pendant un arrêt, la tôle du foyer s'est déchirée en croix à $0^m,50$ de la plaque tubulaire d'avant ; la moitié supérieure du tube foyer s'est déformée. La porte du foyer a été projetée et a tué une personne.	**Une personne tuée, une autre légèrement blessée ; incendie d'une grange.**

CAUSES DE L'EXPLOSION suivant L'ADMINISTRATION 9	OBSERVATIONS CRITIQUES 10
Cause indéterminée.	Cette explosion peut avoir été causée par des fissures ou cassures existant à la rivure supérieure et provenant de flexions alternatives provoquées par les dilatations et contractions de la cheminée centrale. L'épreuve récente a, sans doute, aggravé ces avaries et provoqué l'explosion.
Cause inconnue.	Les détails font défaut. En l'absence de toute cause déterminée, le faible intervalle entre l'épreuve et l'accident indique entre eux une corrélation que l'absence de détails ne permet pas d'approfondir.
Cause inconnue.	Cette explosion peut provenir de fissures ou cassures existant à la ligne de rivets, provoquées ou agrandies par l'épreuve officielle qui a précédé l'accident de quatre mois seulement.
Cause inconnue.	Même observation.
Causes restées en somme mystérieuses. L'enquête n'a mis hors de doute que [illegible] points suivants : Accident présentant [illegible] caractères d'une explosion par excès [illegible] pression. — Défaut de construction [illegible] déterminé les lignes de rupture les [illegible] faciles. [illegible] du corps cylindrique assemblées [illegible] des couvre-joints cintrés dans le [illegible] sens et sans les précautions [illegible]rables. Grave imprudence du chauf[illegible] pour avoir quitté depuis deux heures [illegible] chaudière encore en feu et sous pression.	Les ruptures indiquées peuvent être expliquées sans avoir recours à un excès de pression non constaté et que rien ne justifie. Quel que soit le bon établissement d'une rivure, elle est toujours moins solide que la tôle elle-même. Il est tout naturel que, lors d'une explosion, la chaudière se déchire à la ligne de rivure, sans qu'il y ait pour cela défaut de construction. Il suffit du reste d'admettre que l'épreuve hydraulique à haute pression, effectuée huit mois seulement auparavant, ait provoqué quelque cassure à cette rivure pour expliquer l'accident.
La cause n'a pu être déterminée avec [illegible]ision.	En l'absence de renseignements suffisants, nous ne pouvons que faire remarquer le peu d'intervalle entre l'épreuve officielle à haute pression et l'accident.
Appareil défectueux en ce qui con[illegible] la faible distance de la grille au [illegible] du foyer ; [illegible] Il aurait fallu un chauffeur spéciale[illegible] expérimenté et soigneux, ce qui n'était pas le cas.	Beaucoup de locomobiles ont les mêmes dimensions de foyer ; la cause indiquée n'est donc guère valable et elle ne pourrait l'être que si l'explosion avait suivi de près la construction de l'appareil ; mais elle est bien hasardée après dix ans de fonctionnement ; et il nous paraît bien plus rationnel d'attribuer l'accident aux défauts produits ou augmentés par l'épreuve officielle qui l'a précédé d'un mois seulement.

CONCLUSIONS :

Ce relevé, aussi bien que toutes les considérations qui l'ont précédé, montre clairement que l'épreuve officielle, telle qu'elle est pratiquée, ne peut servir à constater la solidité d'une chaudière à vapeur, c'est-à-dire que, tout au moins, elle est inutile.

Mais il montre aussi que de nombreuses explosions proviennent des avaries produites ou aggravées par l'épreuve elle-même.

Le seul moyen préventif est la suppression de l'épreuve hydraulique officielle à haute pression.

Mais nous n'ignorons pas que certaines personnalités restent partisans des épreuves officielles, à haute pression, malgré leurs inconvénients graves. MM. Richard et Baclé, qui sont bien placés pour le savoir, n'hésitent pas à dire dans leur *Manuel du Mécanicien* que « cette épreuve « a l'avantage de dégager la responsabilité des Compagnies (de chemins « de fer) pour toutes les explosions qui ne sont pas dues à l'imprudence « notoire des Mécaniciens. »

Cette phrase est la critique la plus amère de la réglementation actuelle : elle exprime clairement que, lorsqu'une explosion survient, ou on l'impute au chauffeur mécanicien, lequel, tué lors de l'accident, ne peut se défendre, et lorsqu'il survit n'est pas cru dans ses affirmations, ou, quand on ne peut le faire, on se retranche derrière l'irresponsabilité administrative !

Les industriels, et tous ceux pour lesquels l'explosion d'un appareil à vapeur est un désastre, ont le plus grand intérêt à ce que la responsabilité du constructeur reste effective ; et, lorsqu'ils auront bien compris que l'épreuve réglementaire à haute pression couvre cette responsabilité, qu'elle n'offre aucune garantie et qu'elle est, au contraire, une source d'avaries, ils en réclameront et en obtiendront la suppression.

Les Associations de propriétaires d'appareils à vapeur qui ont le plus grand intérêt à ne pas s'aliéner l'Administration, puisque, disent-elles, « avec l'interprétation administrative actuelle du règlement en France, « la confiance et l'appui du Corps des Mines contribuent plus efficace- « ment au développement des Associations que tout autre moyen « légal, » n'hésitent pas cependant à condamner les épreuves réglementaires.

Si, réunis en Congrès, les Ingénieurs en chef de ces Associations ont, dans la séance du 4 novembre 1883, décidé que les notes rédigées à cette époque, par MM. Cornut et Vinçotte, sur les avaries des chaudières survenues à la suite d'épreuves hydrauliques, devaient alors garder un

caractère purement confidentiel et ne pas faire l'objet d'une publication dans le compte rendu, c'est qu'ils ont voulu approfondir cette grave question ; et ce n'est qu'après une étude supplémentaire de quatre années qu'ils se sont décidés à faire connaître le résultat de leurs recherches et de leurs observations.

La fin de la séance mémorable du 7 novembre 1887, dans laquelle cette question a été traitée, mérite d'être intégralement rapportée :

« M. le Président. — ... Si personne n'a plus d'observations à « faire... je vous relirai les conclusions de ma note et, si vous partagez « mon avis, je vous prierai de les adopter.

« Conclusions :

« 1° Les essais à la presse hydraulique, tels qu'ils sont pratiqués « conformément aux règlements, ne donnent, en général, aucune indi- « cation sérieuse et exacte sur le danger qu'il peut y avoir à se servir « d'une chaudière ;

« 2° Ces essais peuvent augmenter les défauts déjà existants ou en « produire de très dangereux et préparer ainsi une explosion.

« M. Ducos. — Ces conclusions ressortent de la statistique que vous « avez établie.

« M. Bour. — *C'est notre opinion depuis longtemps à tous.*

« M. le Président. — Les conclusions sont adoptées à l'unanimité. »

RUPTURE ACCIDENTELLE DES CONDUITES DE VAPEUR

Lorsqu'une usine possède plusieurs générateurs déversant la vapeur dans une même conduite, s'il survient une explosion à l'un d'eux, les tuyaux se brisent immédiatement et la vapeur des générateurs restés intacts, s'échappant par l'ouverture béante, brûle les personnes qui se trouvent à portée.

Nombre d'ouvriers ont été atteints de cette manière, notamment lors des explosions de Marnaval et d'Eurville.

L'Administration, voulant éviter ces accidents, a, par un Décret en date du 29 juin 1886, rendu obligatoire l'emploi d'un clapet automatique d'arrêt dans des circonstances déterminées, mais sans conditions spéciales.

Or la pratique a montré que ces appareils présentaient des inconvénients, variant suivant les systèmes et selon les exigences de l'usine.

D'abord leur fonctionnement n'est pas certain.

En marche normale, en effet, le clapet ne doit pas fonctionner, et il

n'est guère possible, dans la pratique, de se rendre un compte exact du fonctionnement de ces appareils même lorsqu'ils ont une communication avec l'extérieur, ce qui n'est pas le cas général.

Ces clapets peuvent s'encrasser ou se détériorer, et nous sommes convaincu que beaucoup d'entre eux ne pourraient fonctionner en cas d'explosion d'une chaudière.

D'autre part, lorsque le fonctionnement de ces organes est trop sensible, il donne lieu à des fermetures intempestives.

« Mais, dit M. Schmidt, comme la fermeture d'un clapet entraîne « généralement la fermeture des clapets des chaudières voisines, il en « résulte une gêne considérable dans la marche des usines, et cela « n'est pas de nature à encourager les industriels à monter ces appa- « reils. Il y a même eu, dans deux cas, des brûlures et une chute « grave, la levée brusque des soupapes de sûreté ayant répandu des « flots de vapeur sur des ouvriers s'efforçant de rouvrir les clapets fer- « més. En effet, la vapeur, emprisonnée dans une chaudière dont le « clapet se ferme brusquement, augmente de pression et, comme les « soupapes ordinaires ne peuvent pas dégager cette vapeur assez rapi- « dement, le timbre de la chaudière se trouve dépassé. La fermeture « intempestive d'une soupape crée donc un danger qui n'existerait pas « en l'absence du Décret du 29 juin 1886. »

Sans doute on peut remédier, en partie du moins, à ces inconvénients par des dipositions spéciales, assez compliquées du reste, mais il nous paraît regrettable que l'Administration ait pris sur elle de faire décréter l'emploi obligatoire d'un apppareil pouvant donner lieu à des accidents en marche normale, et pouvant arrêter subitement la vapeur et, par conséquent, le fonctionnement de la machine dans des cas où cet arrêt peut être très dangereux ; lors de la descente des ouvriers dans un puits de mine, par exemple, où l'emploi de la vapeur est quelquefois d'une nécessité absolue.

En relevant les cas de fermeture intempestive qui ont eu lieu en 1888 et 1889, M. Schmidt trouve singulier qu'il y en ait eu beaucoup moins en 1889 qu'en 1888. Ce résultat nous paraît, au contraire, tout naturel : les inconvénients de ce clapet engagent les industriels à modérer sa fermeture et, conséquemment, à supprimer son fonctionnement.

Du reste, l'application, à cet organe, des dispositions de l'art. 35 du Décret du 30 avril 1880, laquelle s'est traduite par des dispenses accordées aux uns, refusées aux autres, est bien de nature à décourager les industriels et même à les indisposer contre les exigences administratives.

En effet, comme l'emploi du clapet automatique d'arrêt est exigé dans les cas où le produit de la capacité des chaudières par un chiffre proportionnel à la pression de marche dépasse 1800, cet emploi est donc absolument indépendant de la forme et de la faible dimension des appareils. Quant à la disposition des tuyaux de vapeur, elle est de nature, *dans tous les cas, sans exception*, à brûler lors de leur rupture les ouvriers qui seront à leur portée, soit couramment, soit accidentellement, et il peut toujours se trouver quelqu'un à proximité, ne serait-ce que le chauffeur.

Il n'existe donc pas un seul cas où la dispense ne puisse pas avoir d'inconvénients.

Les dispenses accordées ne sont donc pas légales ; il suffit, pour s'en convaincre, de rapprocher de nos observations le texte du Décret (1).

Sans doute les conséquences des accidents qui peuvent résulter de la rupture des tuyaux de conduite sont variables suivant le nombre des ouvriers qui se trouvent près de leur passage ; dans les forges notamment, les chaudières sont disséminées dans toute l'usine et raccordées par des tuyaux qui suivent toutes les directions. Mais ces usines ou d'autres analogues sont généralement classées dans la nomenclature des établissements dangereux.

Les règlements ordinaires permettaient de leur imposer certaines mesures de sûreté particulières lesquelles, comme le clapet automatique d'arrêt, sont indépendantes du fonctionnement lui-même de la chaudière à vapeur.

Mais en imposant le clapet d'arrêt à toutes les usines, l'Administration a commis une maladresse ; en accordant des dispenses, elle commet une illégalité ; et, en définitive, elle n'a pas obtenu le résultat qu'elle cherchait, la sécurité n'y a rien gagné, au contraire.

Nous pouvons faire rentrer dans cette catégorie les accidents survenus par suite de manœuvres dangereuses, telles que le détamponnement d'un trou d'homme alors que la pression n'est pas complètement tombée ; la sortie de son cylindre d'un piston de machine ; le démontage d'un joint ou celui d'un tuyau qui sont sous pression.

---

(1) Voici le texte de l'art. 35 du Décret du 30 avril 1880 :

« *Art. 35.* — Le ministre peut, sur le rapport des Ingénieurs des Mines, l'avis du « Préfet et celui de la Commission centrale des Machines à vapeur, accorder dispense de « tout ou partie des prescriptions du présent Décret, dans tous les cas où à raison soit de « la forme, soit de la faible dimension des appareils, soit de la position spéciale des « pièces contenant de la vapeur, il serait reconnu que la dispense ne peut pas avoir d'in« convénients. »

Quelques précautions et un peu d'attention suffisent pour éviter ces accidents dont les suites sont toujours fâcheuses.

GELÉE

Il arrive quelquefois que l'eau d'une chaudière gèle.

L'eau, en se congelant, augmente de volume, elle peut donc déformer ou même briser les parois qui la contiennent.

Lorsque la tôle est déchirée sur une certaine étendue, les fuites signalent l'avarie; mais quelquefois les fentes ou fissures, quoique dangereuses, sont moins apparentes et on ne peut souvent les apercevoir sans une visite minutieuse.

Il faut éviter, d'une façon générale, de laisser de l'eau dans une chaudière en chômage, spécialement lors des grands froids, mais si le fait arrive par inadvertance et que l'on puisse craindre que l'eau se soit congelée, il ne faut pas hésiter à faire visiter la chaudière à fond, par une personne compétente.

L'hiver si rigoureux de 1879-80 a occasionné plusieurs accidents de ce genre.

C'est aux effets de la gelée qu'il faut attribuer l'explosion d'une chaudière verticale à foyer intérieur survenue le 8 janvier 1880, à Bessée (Nord).

« La tôle, dit le rapport officiel, présentait de nombreuses cassures « anciennes entre les rivets; il est très probable qu'elles ont été pro- « duites par la congélation de l'eau pendant le chômage qui a eu lieu « par les grands froids. »

Cette explosion, arrivée à la mise en feu après ce chômage, a tué deux personnes, dont une à 15 mètres de l'appareil; une autre a été grièvement blessée.

Les mêmes circonstances ont précédé l'explosion d'une chaudière locomobile survenue le lendemain, 9 janvier 1880, dans un moulin, à Sainte-Radégonde (Vendée).

« La chaudière était mise en feu pour la première fois depuis les « grandes gelées. »

Le chauffeur fut tué.

Une troisième explosion survenue deux jours après, le 11 janvier 1880, dans les carrières de Belevoye (Jura), a eu la même cause.

Elle a fait quatre victimes, dont le chaudronnier, lancé à 10 mètres de distance, et le contremaître, lancé à près de 30 mètres.

Sous le n° 241, M. Cornut (1889) montre une « pièce découpée dans

« la paroi cylindrique d'une chaudière verticale Hermann-Lachapelle à « bouilleurs croisés. Cette chaudière, dit-il, était restée pleine d'eau « pendant le grand hiver 1879-80, dans une ferme. Le bloc de glace « d'un des bouilleurs transversaux a exercé une poussée considérable « sur l'autoclave et embouti de 32 millimètres, à froid, la tôle du corps « cylindrique, en y déterminant trois fentes autour du trou d'auto- « clave ».

Voici un extrait du rapport officiel fait au sujet d'un accident survenu dans des circonstances différentes.

« Le 14 janvier 1850, à l'hospice des aliénés de Blois, une petite « chaudière de 81 litres de capacité a produit, en se déchirant, des « dégâts considérables.

« La tension de la vapeur ne pouvait habituellement dépasser un « tiers d'atmosphère de pression effective ; mais le jour de l'accident, « il faisait froid, l'eau s'est gelée dans l'intérieur des tuyaux... la « vapeur n'avait plus d'issue, elle a brisé l'enveloppe qui la renfer- « mait. »

EXCÈS DE PRESSION

1° PAR LE FONCTIONNEMENT ORDINAIRE DE LA CHAUDIÈRE

Lorsque la pression de marche d'une chaudière à vapeur dépasse le timbre qu'elle porte et qui a été poinçonné par l'Administration, on dit qu'il y a *excès de pression*, et l'on considère cet excès de pression comme devant produire une explosion.

Cette définition est absolument défectueuse.

Le timbre placé sur la chaudière n'a aucune valeur de sécurité, puisqu'il représente seulement le chiffre qui a servi de base à l'épreuve officielle, chiffre indiqué souvent par le bon plaisir de celui qui fait usage de la chaudière.

Prenons pour exemple la chaudière du bateau le *Tape-Dur*, dont l'explosion, survenue le 19 mai 1886, figure sur notre relevé au n° 30.

Toutes les parties de l'appareil construit en 1879 pour fonctionner à une pression de 7 kilogr. furent calculées pour cette pression. L'Ingénieur des Mines qui a instruit l'explosion estime même que les entretoises ont été établies par le constructeur trop faibles et trop espacées pour le timbre de 7 kilogr.

Cette pression représente donc, tout au plus, la limite de sécurité qu'il était prudent de ne pas dépasser.

Mais, plus de six ans après, le propriétaire, voulant augmenter la force de sa machine, eut l'idée de changer le timbre de la chaudière et de le porter de 7 à 9 kilogr. L'appareil supporta l'épreuve faite pour cette nouvelle pression, en juin 1885, et renouvelée le 14 novembre de la même année ; il fut timbré en conséquence.

On ne peut cependant sérieusement soutenir que cette nouvelle pression représente la limite de sécurité qu'on pouvait atteindre en marche normale.

C'est néanmoins ce que tend à établir M. Michel Lévy, Ingénieur en chef des Mines, rapporteur de cette explosion, qui, après avoir déclaré réel le vice de construction signalé, estime qu'il ne paraît avoir joué qu'un rôle accessoire dans l'espèce ; *la durée relativement longue de la*

chaudière, dit-il, *les nombreuses épreuves qu'elle a subies en atténuent la portée*.

Nous pensons tout le contraire, et nous estimons que *la faiblesse des entretoises, le long service de l'appareil et les nombreuses épreuves qu'il a subies* ont diminué sa sécurité et que la limite de cette sécurité était alors *inférieure* au timbre de 7 kilogr. primitif. Cette pression, et à plus forte raison celle de 9 kilogr. acceptée par l'Administration des Mines à la suite de l'épreuve, acceptée également par la Commission de surveillance, qui avait cependant la faculté de refuser le permis, était donc dangereuse ; la chaudière fonctionnait sous un excès de pression incessant, et l'explosion formidable qui en est résultée l'a bien démontré.

Pour nous, *il y a excès de pression,* lorsqu'un générateur fonctionne au delà de la limite pratique de sécurité, quel qu'en soit le timbre.

Une chaudière à vapeur en marche n'est pas soumise aux seuls efforts de la pression de la vapeur ; elle a encore à supporter, suivant les expressions de M. Cornut, ceux du fonctionnement du générateur, des dilatations inégales, contrariées, anormales, produisant des cassures, des fentes, etc.

Pour parer à ces efforts et pour ne pas dépasser la limite d'élasticité du métal, on admet dans la pratique qu'il est prudent de ne pas faire travailler les assemblages au-dessus du cinquième de la résistance à la rupture. C'est la pression produisant ce résultat qui correspond à la limite pratique de sécurité.

Cette limite est essentiellement variable, suivant l'âge de la chaudière et ses conditions de fonctionnement ; il est donc important de se rendre compte, de temps à autre, de l'état général du générateur et de modérer, quand il y a lieu, la pression de marche.

C'est par la visite intérieure, l'examen et le sondage des tôles que les Associations de propriétaires d'appareils à vapeur peuvent donner une appréciation sur la limite de sécurité qu'offre une chaudière après un certain temps de marche.

C'est par un examen analogue que les Inspecteurs du « Board of trade » fixent, en Angleterre, la pression de marche des chaudières destinées aux bateaux à voyageurs, et la charge des soupapes de sûreté.

Il devrait toujours en être ainsi, et nous dirons qu'il y a eu *explosion par excès de pression,* lorsque la pression qui a produit l'accident a outrepassé la limite de sécurité établie lors de la dernière visite intérieure de la chaudière.

Cette visite doit, selon nous, être annuelle.

La limite de sécurité ou pression de marche bien établie, il ne faut pas la dépasser ou du moins ne la dépasser que de très peu.

Les moyens de parvenir à ce résultat sont l'action du chauffeur guidé par le manomètre et les soupapes de sûreté, ainsi que ces soupapes elles-mêmes.

L'action du chauffeur est, en réalité, le seul moyen efficace ; c'est par le charbon jeté sur la grille qu'il obtient la pression, c'est par la fermeture du registre, par l'ouverture des portes du foyer, par l'alimentation à l'eau froide qu'il la modère.

Le *manomètre métallique*, dont on se sert universellement aujourd'hui, est un appareil médiocre qui, s'il est mal construit, donne des indications absolument erronées, et, même quand il sort d'une maison sérieuse, se dérange assez fréquemment.

Sa position par rapport à la chaudière a, de plus, une influence sur ses indications.

Le manomètre doit être vérifié très souvent, mais le chauffeur ou le chef d'industrie n'ont pas de moyen de contrôle autre que la soupape de sûreté dont du reste ils n'apprécient pas suffisamment les indications.

L'explosion d'une chaudière tubulaire à foyer intérieur survenue le 22 juillet 1889 sur un bateau-drague, à Dieppe, et qui a tué le chauffeur, a été causée, dit le rapport officiel, par « excès de pression provenant « de ce que le chauffeur a été induit en erreur par les fausses indica- « tions du manomètre dont le robinet était partiellement fermé.

« Cet ouvrier, voyant les soupapes souffler alors que le manomètre « ne marquait que 2 kilogr., a commis la faute de caler les soupapes et « de pousser le feu trop activement, ce qui a amené la rupture du « réchauffeur placé à l'arrière de la chaudière. »

Nous pensons qu'il y a erreur de dénomination et qu'il faut lire que le chauffeur a surchargé et non calé les soupapes. La surcharge est en effet pratiquée dans ce cas, mais le calage ne peut donner ici l'équilibre de pression qui paraît avoir été cherché par le chauffeur.

Une *soupape de sûreté*, bien construite et bien ajustée, fonctionne avec un grand degré de précision et elle est peu susceptible de se déranger, si on a soin de ne pas la laisser coller sur son siège ; il suffit, à cet effet, de la soulever très légèrement, de temps à autre, ainsi que nous l'avons déjà expliqué.

Ces soupapes, au nombre de deux par chaudière, doivent être réglées de manière à laisser échapper la vapeur dès que la pression effective atteint la limite pratique de sécurité telle que nous l'avons définie.

La plupart du temps elles sont chargées trop juste, elles se soulèvent et soufflent par conséquent sous l'action d'une tension réellement moindre que celle pour laquelle elles ont été établies, parce qu'on ne tient compte que du diamètre intérieur, au lieu d'introduire dans les calculs le diamètre moyen ; et cette avance dans leur action est d'autant plus apparente que, le plus souvent, le manomètre retarde. Il s'en suit que l'aiguille du manomètre ne peut jamais atteindre l'index marqué sur cet appareil, à moins qu'on ne surcharge les soupapes. C'est malheureusement ce que le chauffeur fait, mais sans se préoccuper suffisamment du poids de la surcharge.

C'est pour parer à cet inconvénient que nous croyons très utile de tenir la charge des soupapes un peu forte, de manière à obtenir un léger excès de pression.

L'Administration a établi, en 1832, après des expériences directes, une formule pour calculer le diamètre des orifices des soupapes, suivant la surface de chauffe et la pression de marche de la chaudière.

Voici, d'après cette formule, les dimensions des orifices des soupapes de sûreté, exprimées en millimètres, correspondant à diverses surfaces de chauffe, pour les pressions de 5, 6 et 7 kilogr.

Surface de chauffe en mètres carrés.		5	10	25	50	75	100	125	150	175	200
Diamètres en millimètres pour une pression de	5k	25	36	56	79	7	111	124	136	147	157
	6k	23	33	51	72	89	103	115	126	136	145
	7k	22	30	48	68	83	95	106	116	126	135

Il a été reconnu, depuis, que ces dimensions sont insuffisantes, il est même admis actuellement qu'il n'est pas possible de placer, sur une chaudière, des soupapes de sûreté ordinaires, en nombre et en diamètre suffisants, pour évacuer la vapeur produite lorsque le feu est poussé à son maximum d'activité.

Par suite de cette circonstance, l'Administration a réduit le rôle de la soupape de sûreté à la fonction d'avertisseur automatique de l'excès de pression.

Les chaudières à vapeur sont donc, réglementairement, munies de trois appareils indicateurs de l'excès de pression, et se trouvent dépourvues d'organes limitant d'eux-mêmes cette pression.

Cette particularité est aussi bizarre que dangereuse.

Si les règlements ont maintenu, pendant si longtemps, une prescrip tion que l'expérience a fait reconnaître irréalisable dans la pratique, le Décret de 1880 est tombé dans l'excès contraire.

Pour que la valeur des soupapes de sûreté soit réelle, il convient de donner, à leur orifice, une dimension en rapport avec la puissance vaporisatrice de la chaudière, et la formule de 1832 paraît convenable dans les cas ordinaires, car, dit M. Couche, le chauffeur, dès que les soupapes soufflent, ne doit pas rester spectateur passif.

Quand il s'agit de circonstances exceptionnelles, comme lors de l'arrêt subit de la machine, le Décret de 1880 recommande de soulever la soupape; ce moyen est assurément peu pratique, il est d'ailleurs dangereux ainsi que nous l'expliquerons.

« La difficulté qu'on éprouve à offrir à la vapeur de grands orifices « *effectifs* d'écoulement, dit M. l'Inspecteur général Couche, n'a « d'ailleurs rien de bien regrettable.

« Un certain excès de pression, pourvu qu'il soit contenu dans de justes « limites, chose toujours facile, présente moins d'inconvénients et de dan- « gers que la brusque ouverture de grands orifices libres, imprimant à la « vapeur, à l'eau elle-même, de grandes vitesses, et soumettant ainsi « les parois de la chaudière à des chocs violents. »

On a proposé des systèmes spéciaux de soupapes à échappement progressif, d'une conception souvent fort ingénieuse, mais d'une construction plus ou moins compliquée; cependant plusieurs types ont été employés avec succès.

D'autres inventeurs ont songé à évacuer non plus la vapeur, mais l'eau, elle-même, contenue dans la chaudière; cette méthode est fort rationnelle. On a objecté qu'en diminuant la quantité d'eau elle constituait une cause nouvelle d'explosion, cette crainte nous paraît exagérée : le chauffeur n'a aucune raison de pousser le feu quand la pression est assez forte pour soulever les soupapes de sûreté.

Afin d'éviter le calage ou la surcharge des soupapes de sûreté, on a proposé de nombreuses combinaisons, fort ingénieuses quelquefois. La plus pratique, assurément, est l'emploi du manomètre enregistreur notant, pour chaque instant de la journée, la pression de la vapeur dans la chaudière, ou même l'usage du manomètre à maxima, plus simple encore.

Ces moyens sont peu employés, non pas qu'on en ait reconnu l'inutilité, mais parce qu'ils sont parfois plus gênants pour les industriels que pour les chauffeurs.

2° PAR OBSTRUCTION DES COMMUNICATIONS

Le tuyau d'alimentation d'un générateur se termine, le plus souvent, à son insertion dans la chaudière, par un robinet ; si, par inadvertance, ce robinet est fermé, le tuyau se crève sous l'action de la pression développée par la pompe, sans qu'il y ait, la plupart du temps, de dégâts sérieux.

Ces dégâts sont plus importants lorsqu'un réchauffeur existe entre la pompe et le robinet ; c'est naturellement le réchauffeur qui crève.

Cet accident arrive fréquemment quand deux chaudières sont munies d'un réchauffeur commun, disposition vicieuse à tous les points de vue.

Tel est le cas d'un accident survenu le 29 août 1881, dans une manutention à Paris, à un réchauffeur commun à deux chaudières cylindriques à deux bouilleurs, par suite de la fermeture des robinets de communication avec les chaudières.

Il suffit du reste, pour éviter ces avaries, de munir le réchauffeur ou le tuyau d'alimentation d'une petite soupape de décharge.

L'accident peut arriver même dans le cas où l'obstruction ne serait pas complète, il suffit évidemment que l'orifice d'écoulement soit insuffisant.

L'explosion d'une chaudière cylindrique à deux réchauffeurs latéraux survenue le 12 octobre 1890, dans une tannerie de Lyon, en est un exemple très instructif, mais qui, malheureusement, a causé la mort de deux hommes.

Les deux réchauffeurs superposés communiquaient par la partie supérieure avec le corps de chaudière, au moyen d'un tuyau en cuivre de 7m50 de longueur et 3 centimètres de diamètre seulement, recourbé plusieurs fois à angle droit.

Dans ces conditions, il peut y avoir dans les bouilleurs-réchauffeurs, une surélévation de pression qui est fonction du diamètre, de la course et de la vitesse de la pompe alimentaire.

Si cette vitesse vient à augmenter pour une raison quelconque, l'arrêt de quelques outils par exemple, la pression peut devenir assez forte pour briser le bouilleur, sans qu'il soit nécessaire de recourir, comme l'Ingénieur des Mines a essayé de le faire, soit à une production instantanée de vapeur, laquelle, dans l'espèce, aurait fait éclater la chaudière et non le bouilleur, soit à un ciel d'air et de vapeur qui aurait au contraire amorti la pression.

L'exemple suivant n'est pas moins intéressant :

A la suite de l'explosion d'un générateur cylindrique horizontal à deux bouilleurs latéraux, survenue le 7 juin 1872, dans une filature de coton, à Nantes, il a été reconnu que le tuyau de communication était entartré et ne laissait vers son centre qu'une petite ouverture de moins de 1 centimètre carré de section.

La pompe alimentaire, d'un diamètre de 60 m/m, et d'une course de 280 m/m, donnait 40 à 45 coups à la minute ; elle fournissait en eau la moitié à peu près du volume engendré par la course du piston.

La section du passage de l'eau dans le tuyau étant insuffisante, la pression s'est élevée et a fait rompre le bouchon du réchauffeur.

3° PAR OBSTRUCTION D'ORIFICES DE DÉGAGEMENT

Dans certains récipients, on chauffe les matières à élaborer, par un courant de vapeur ; ces appareils, lorsqu'ils communiquent directement avec l'atmosphère, sont établis sans soins spéciaux ; il s'en suit que si l'orifice de dégagement est trop faible ou s'il s'obstrue accidentellement, la pression s'élève et fait éclater ces récipients.

Nous pouvons citer, comme exemple, l'explosion d'un appareil à cuire les bois, survenue à Villefranche. Cet appareil était muni d'une soupape réglée pour la pression de 1 k. 500, mais elle a été bouchée par les copeaux de bois de Campêche dont le récipient était chargé, ce qui a permis à la pression d'atteindre celle de la chaudière, pression que les tôles n'ont pu supporter.

Le 11 janvier 1882, dix cylindres sécheurs en cuivre rouge ont été avariés dans la blanchisserie d'Erquinghem (Nord), deux d'entre eux ont été déchirés en plusieurs morceaux, tuant un ouvrier et en blessant un autre.

Dans chaque cylindre la vapeur arrive par un tourillon ; la vapeur et l'eau condensée s'échappent par l'autre. Les dix tuyaux de décharge des dix sécheurs se réunissent en un collecteur unique dont la section n'est que de 2,55 centimètres carrés. Il suffit, dans ces conditions, que l'ouverture du robinet d'admission de vapeur soit trop grande, pour que la pression s'élève dans les récipients. C'est ce qui a causé l'explosion.

Des accidents semblables sont arrivés la même année, le 22 février, à la papeterie de Doceffes (Vosges), le 14 mars, à la papeterie de Jouy-sur-Morin (Seine-et-Marne).

Il est fort imprudent de munir de robinet le tuyau de décharge d'un récipient qui ne pourrait pas supporter la pression du générateur qui l'alimente, sans que cet appareil porte de soupape de sûreté réglée pour la pression correspondant à la limite de sécurité. Cependant on le fait malheureusement trop souvent et de nombreux accidents en ont été la conséquence.

Citons à ce sujet l'explosion survenue à Suresnes, le 6 avril 1878, d'un récipient de vapeur de faible épaisseur portant un robinet d'admission et un robinet de décharge.

Ce récipient, formant cylindre d'apprêt, avait une fuite qui tachait l'étoffe ; pour reconnaître cette fuite et la réparer, le contremaître eut l'idée de fermer un peu le robinet de décharge afin d'augmenter légèrement la pression; mais elle devint trop forte, et l'appareil éclata en brûlant le contremaître et l'ouvrier chargé de la conduite de l'appareil.

Rappelons encore l'accident survenu le 9 juin 1883, dans une teinturerie d'Amiens : Cinq cylindres sécheurs, en cuivre, se sont rompus par suite de la fermeture du robinet d'évacuation, pour constater une fuite qui paraissait exister aux assemblages des tuyaux. Un ouvrier a été tué, un autre blessé.

Les tuyaux de dégagement de quelques appareils à double fond, fonctionnant sans pression appréciable, plongent dans l'eau. L'action de la vapeur cessant, le vide s'établit dans le double fond, le liquide monte et le remplit. Si, en remettant l'appareil en marche, on ouvre trop brusquement le robinet d'admission, la vitesse d'introduction de la vapeur étant beaucoup plus considérable que celle d'évacuation de l'eau, la pression de la chaudière s'établit dans le double fond qui éclate.

Pareil accident arriverait aux monte-jus s'ils n'étaient pas construits assez solidement ou munis d'une soupape.

Pour cette raison, il est bien rare que les monte-jus ne soient pas établis en vue de supporter la pression du générateur qui leur fournit de la vapeur ; cependant nous pouvons citer l'explosion survenue le 6 juin 1880, à Nanterre, d'un récipient cylindrique servant de monte-jus.

« A la partie supérieure arrive la vapeur des générateurs; au bas
« débouchent les tuyaux d'aspiration et de refoulement munis chacun
« d'une vanne.

« Le chauffeur... admit la vapeur en plein et le récipient fit explo-
« sion en tuant un homme.

« L'appareil, dit l'Ingénieur des Mines, a été soumis par suite de

« l'obstruction des tuyaux, à une pression égale à celle des généra-
« teurs. »

Signalons encore l'explosion survenue le 17 avril 1883, dans une blanchisserie de Paris, d'un récipient monte-jus chauffant un cuvier placé au-dessus de lui.

On a constaté que le tuyau d'ascension avait été obstrué par un tampon de fibre de bois; cette obstruction n'était pas nécessaire pour produire l'accident, la présence de l'eau seule suffit si la vapeur est introduite sans précaution.

Un phénomène analogue s'observe dans d'autres circonstances :

Les divers étages d'une grande manufacture du département de la Seine étaient chauffés par de la vapeur circulant dans une conduite formée de tuyaux en fer légèrement inclinés, et redescendant condensée à la chaudière par une conduite jumelle.

Lors d'une suspension de travail, le préposé ferma le robinet de prise de vapeur sans toucher à celui du retour d'eau. Par suite de la condensation de la vapeur, l'eau de la chaudière s'éleva dans une des conduites.

A la reprise du travail, l'employé ouvrit brusquement le robinet supérieur ; il se produisit bientôt un choc ou marteau d'eau tellement violent qu'un des tuyaux, quoique éprouvés à une pression de 25 kilogr. par centimètre carré, s'ouvrit sur une longueur de plus d'un mètre ; un ouvrier fut brûlé.

Dans une usine de Paris, le phénomène suivant se produisait quelquefois : un bouilleur-réchauffeur s'avançait subitement brisant les conduites et disloquant la maçonnerie.

Consulté sur ce fait étrange, nous avons établi qu'il était le résultat d'une vidange trop brusque.

Le générateur se composait d'une chaudière cylindrique communiquant avec deux réchauffeurs latéraux par un conduit supérieur recourbé.

Ce générateur était très poussé.

Assez longtemps avant sa vidange, on supprimait l'alimentation sans arrêter le fonctionnement de la machine. Les réchauffeurs se chargeaient alors de vapeur, soit par l'action de la chaleur, soit par suite de la diminution de tension de la vapeur dans la chaudière.

Quand on ouvrait le robinet de vidange placé au bas des réchauffeurs l'eau s'écoulait d'abord, ensuite c'était le tour de la vapeur contenue dans ces deux derniers corps, enfin, la pression y diminuant, l'eau de la chaudière s'y déversait et affluait aussitôt au robinet de vidange. La vitesse d'évacuation changeait brusquement et la masse d'eau, possé-

dant une force vive considérable, frappait sur la tête du bouilleur et donnait lieu au phénomène indiqué. Sur notre conseil, on a placé une communication entre le réchauffeur inférieur et la chaudière, et ces accidents ont cessé.

4° EXCÈS DE LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE

Les anciennes chaudières à faces planes, dites à galeries, aussi bien que certains récipients de vapeur à minces parois peuvent s'écraser facilement, sous l'action de la pression atmosphérique, lorsque la vapeur, ayant cessé d'agir, se condense en créant le vide dans l'intérieur.

On évite cet accident en munissant ces appareils d'une soupape atmosphérique, c'est-à-dire disposée de manière à s'ouvrir du dehors au dedans.

Dès que la tension de la vapeur devient moindre que la pression de l'atmosphère, cette soupape ouvre un passage à l'air et l'équilibre se rétablit.

MODIFICATION BRUSQUE DANS L'ÉQUILIBRE DU SYSTÈME

Les chaudières à vapeur sous pression, disent MM. Richard et Baclé, sont dans un état d'équilibre vibrant, et toute modification brusque à cet équilibre peut provoquer des troubles généraux ou locaux dont il est difficile de préciser l'influence sans pouvoir en contester l'importance.

Quelques jours après son installation, un accident survint à une chaudière semi tubulaire : Sous l'action de la pression, la soupape se souleva ; le contrepoids n'étant pas fixé glissa sur le levier qui tourna autour de son axe et la soupape fut projetée.

A ce moment, l'eau contenue dans la chaudière fut soulevée par une ébullition tellement violente qu'elle s'échappa, en très grande partie, par l'orifice libre de la soupape.

Le choc de l'eau contre les parois ébranla le générateur dans son fourneau.

La chaudière neuve, bien et solidement construite, a résisté à cet ébranlement s'ajoutant à la pression; mais si la chaudière eût été déjà affaiblie, il aurait pu en être autrement.

Pareil accident est arrivé, le 1er juin 1874, à une chaudière cylindrique à deux bouilleurs dans une blanchisserie de Reims.

« La soupape d'avant, de 92 millimètres de diamètre, était pressée
« par un levier qui, malgré l'insertion d'une cale dans l'étrier, pouvait
« s'élever en ce point de 33 millimètres, tandis que les ailettes de la
« soupape n'avaient que 24 millimètres de hauteur. »

La vapeur et l'eau chaude sortant de la chaudière ont brûlé le chauffeur, qui est mort quelques jours après. Il ne paraît pas toutefois que cet accident ait causé des avaries sérieuses à la chaudière.

Dans tous les cas, nous pensons que la commotion violente, produite par une telle projection d'eau, est de nature à provoquer un déchirement, même sans qu'il y ait augmentation de la pression intérieure.

Nous croyons donc que l'***ouverture brusque d'un robinet, d'une soupape*** ou le ***bris d'un tuyau*** donnant issue à la vapeur et provoquant des secousses intérieures, peuvent déterminer une explosion, alors que la limite de résistance de la chaudière est déjà près d'être atteinte.

Cette circonstance est une explication fort plausible de la fréquence des explosions survenues à la mise en marche de la machine.

Ce que nous disons d'une secousse intérieure peut s'appliquer également à un ébranlement extérieur.

Nous estimons ainsi que tout choc extérieur est de nature à provoquer une explosion lorsque la pression de la chaudière est voisine de celle qui peut produire la rupture.

Voici quelques observations faites à ce sujet par M. Jaunez, Ingénieur civil, dans son *Manuel du chauffeur* :

« Une explosion eut lieu dans une filature de lin. La chaudière était « chauffée intérieurement..... c'était une chaudière neuve, elle n'avait « travaillé que pendant quinze jours, les fabricants l'avaient garantie « comme pouvant supporter une pression très supérieure.

« Cependant on remarqua une fuite à la plaque de l'extrémité de « l'arrière ; aussitôt le maître et les ouvriers de monter sur la chau- « dière, armés de marteaux, de ciseaux froids, et de marteler, de cal- « fater la partie défective et cela avec une haute pression. Le résultat « pouvait être prévu : au bout d'un instant, la plaque, le maître, les « ouvriers sont lancés à des distances incroyables, la machine détruite, « la filature incendiée complètement.

« Nous ne saurions condamner trop vivement la coutume de calfater « les chaudières lorsqu'elles sont sous haute pression.

« Il y a 9 ans, à Manchester, une chaudière de locomotive fit explo- « sion précisément tandis qu'on calfatait les joints ; six personnes furent « tuées. »

Nous avons mentionné le fait d'une explosion survenant au moment même où une femme tirait le sifflet de vapeur ; l'Ingénieur des Mines pense que les vibrations de ce sifflet ont influé sur l'explosion ; c'est bien possible.

L'explosion d'une locomotive de terrassement à Corbigny est survenue le 25 mars 1884, au moment du choc produit par tamponnement contre un wagon.

Ainsi que nous l'avons expliqué au n° 11 de notre relevé, la chaudière a sans doute été détériorée par l'épreuve officielle faite un mois auparavant, et des entretoises ont dû être cassées lors de cet essai. La pression de sécurité, inférieure à celle indiquée par le timbre, était sans doute dépassée, et le choc, tout faible qu'il ait été, a pu déterminer l'accident.

Nous avons déjà fait remarquer que la projection de l'eau d'une chaudière tubulaire explosée agissait fortement sur les tubes et pouvait les courber, ainsi que cela a été constaté lors de l'explosion d'une chau-

dière de bateau, à Vaise, le 5 novembre 1853, et de celle d'une chaudière de locomotive le 7 juin 1859.

Si leur résistance a déja été amoindrie par une circonstance accidentelle, la surchauffe provenant d'un manque d'eau périodique par exemple, au lieu de se cintrer, les tubes peuvent se briser. Cette action explique l'écrasement simultané de plusieurs tubes, lors de la rupture d'un seul.

L'explosion de la chaudière du bateau *la Ville d'Argenteuil*, survenue le 9 juin 1879 et mentionnée sous le n° 32 de notre relevé, en est un exemple remarquable.

D'ailleurs, la puissance développée lors d'une explosion, l'expansion subite de la vapeur produite, peuvent soulever, projeter et même détruire les chaudières voisines.

Dans un rapport sur une explosion de locomotive qui a eu lieu à Moulins, le 10 novembre 1862, M. Jutier, Ingénieur des Mines, constate que c'est « la vibration de l'air causée par l'explosion » qui a déterminé la chute immédiate d'un pont. « Cette vibration, analogue à celle que « cause l'explosion d'une poudrière, a été si violente que les herbes qui « couvraient le talus ont été couchées à ras du sol, jusqu'à une distance « assez considérable en arrière du pont. »

C'est en s'appuyant sur ces principes que M. l'Ingénieur en chef Olry explique l'explosion formidable de 22 chaudières à vapeur survenue aux hauts fourneaux de Fridenshütte, dans la nuit du 24 au 25 juillet 1887, explosion que nous avons déjà citée.

« Si la statistique, dit M. Olry, n'a pas encore enregistré de catas-« trophes aussi considérables... c'est qu'il existe peu de batteries d'un « pareil nombre de générateurs, et cependant on peut citer :

« Le 8 avril 1863. Cinq générateurs ont éclaté d'un seul coup dans « le laminoir Mossend près de Glasgow. M. l'Ingénieur en chef Fletcher « n'a pas hésité à attribuer cet accident à la rupture d'une des chau-« dières et à la dislocation qu'elle a entraînée parmi les autres.

« Le 26 décembre 1876, dans une fabrique de sucre de Saint-Hilaire-« Cottes (Pas-de-Calais), une batterie de cinq chaudières a été détruite « dans des conditions analogues, en marche normale, les valves de « prise de vapeur ouvertes. Trois seulement de ces chaudières étaient « en pression, les vides alternaient avec les pleines. »

La cause de cette explosion n'a pu être exactement précisée, mais les suites en ont été terribles :

« Cinq personnes ont été tuées et quinze blessées ou brûlées dont « cinq très grièvement. (Parmi les premières étaient deux jeunes filles

« de 7 et 12 ans qui triaient des escarbilles près des chaudières et qui « ont été lancées en l'air ; l'une d'elles est retombée à 70 mètres de « distance en passant par dessus la maison d'habitation).

« Projection d'une part de grandes quantité de fragments des chau- « dières en feu à des distances considérables, d'autre part, des deux « autres générateurs l'un à 30 mètres, l'autre à 50 mètres de distance ; « ils ont été brisés en plusieurs morceaux dans leur chute.

« Démolition de la fabrique entière.

« Dégâts matériels très considérables. »

Ces exemples suffisent, croyons-nous, à démontrer l'influence que peuvent avoir les chocs ou les secousses sur les explosions de chaudières à vapeur.

Nous devons donc répéter ici ce que nous avons déjà dit, qu'il est toujours prudent de prendre des précautions lors de l'ouverture des robinets d'une chaudière à vapeur. Si, dans les cas ordinaires, l'influence de cette manœuvre ne peut avoir que très rarement d'inconvénients graves, il pourrait en être tout autrement, si lors d'une surélévation accidentelle de pression, on voulait produire un abaissement rapide de cette pression en soulevant les soupapes de sûreté, comme paraît le recommander l'Administration, ou en ouvrant brusquement un robinet de décharge, comme on l'a proposé quelquefois.

M. l'Inspecteur général des Mines, Haton de la Goupillière exprime le même avis dans son *Cours de machines*. « La situation s'aggrave « encore, dit-il, si le chauffeur soulage une soupape de sûreté. Le « soulèvement de l'eau provoqué par la diminution de pression produit « une secousse capable d'amener l'explosion. »

CAUSES PROBLÉMATIQUES OU INDÉTERMINÉES

« Quand une explosion vient à se produire, dit M. Hirsch, il est « assez rare qu'on ne puisse pas, par un examen attentif, en découvrir « les causes. Il arrive quelquefois, il est vrai, que l'enquête reste en « défaut et ces causes inconnues, mais, même alors, cette incertitude « provient presque toujours de ce que l'information n'a pas pu être « complète, soit parce que les témoins de l'accident ont disparu, soit « parce que les pièces de l'appareil brisé ont été dispersées, avariées ou « dérangées, par le fait même de l'explosion ou autrement, en un mot, « parce que, pour un motif ou pour un autre, les constatations maté- « rielles n'ont pu être faites complètement et en temps utile. »

Du reste, on arrive presque toujours, devant un appareil explosé, sans renseignements certains ni sur l'état antérieur de l'appareil, ni sur l'âge et la qualité des tôles.

On aurait assurément plus de facilité à découvrir les causes de l'explosion si on possédait, à ce moment, des renseignements sur la manière dont l'appareil s'est comporté à l'épreuve, sur les défauts constatés lors de visites faites par des hommes compétents, sur la nature des tôles, l'effort capable de produire leur rupture, l'allongement proportionnel, etc., ainsi que nous le demandons dans notre exposé de méthode de liberté rationnelle.

Quoiqu'il en soit, « il vaudrait mieux, disent MM. Richard et Baclé, « quand la cause d'une explosion n'est pas bien claire, avouer qu'on « l'ignore, faute de documents suffisants, que de l'attribuer à des « actions plus ou moins hypothétiques et dont la mise en jeu ne peut « avoir, en pratique, que l'un des deux résultats suivants, également « fâcheux : ou diminuer la confiance du mécanicien dans sa machine, « puisqu'elle peut sauter par caprice ; ou lui fournir des précédents « appuyés sur une autorité *parfois gênante*, pour excuser un accident « dû à une maladresse, qui, par hasard, n'aurait pas laissé de traces. »

A propos de l'explosion d'une chaudière de locomobile survenue le 25 août 1879, à Lignières (Indre-et-Loire), explosion qui a causé la mort du mécanicien et de sa femme, ainsi que celle du fermier et de son fils,

écrasés sous les décombres d'un bâtiment effondré, cinq autres personnes ayant en outre été grièvement blessées ou brûlées, l'Ingénieur des Mines a donné les causes suivantes, dont quelques-unes au moins sont très problématiques :

« Amincissement d'une partie des tôles et pression *probablement* supé-
« rieure à la pression normale acquise pendant un chômage de deux
« heures alors que les soupapes étaient *peut-être* surchargées ou
« calées.

« *On peut aussi se demander* si l'eau n'avait pas atteint une tempé-
« rature plus élevée que celle qui correspondait à la pression de vapeur
« et si cet équilibre instable, ayant été rompu à la reprise du travail,
« il n'y a pas eu un développement instantané de vapeur produisant
« les effets très énergiques qui ont été constatés. »

En lisant de pareilles hypothèses, on se demande comment un tribunal appelé à statuer sur des indemnités ou sur des poursuites correctionnelles peut être éclairé ! Et ne vaut-il pas mieux, dans ce cas, dire franchement, comme dans l'exemple suivant, que la cause est douteuse ou inconnue ?

L'explosion d'une chaudière cylindrique verticale chauffée par les flammes perdues d'un four à réchauffer, survenue le 8 septembre 1874, aux forges de Commentry (Allier), « a fait 57 victimes : 22 ouvriers
« tués sur le coup ou morts des suites de leurs blessures ; 35 ouvriers
« blessés plus ou moins grièvement. Projection d'une partie de la virole
« du coup de feu dans une direction horizontale et de la partie supé-
« rieure dans une direction verticale.

« *La cause est douteuse !* dit le rapport officiel.

« Installée en 1866, elle avait subi plusieurs réparations au coup de
« feu, à la suite desquelles l'épreuve réglementaire avait été renou-
« velée avec succès. »

Ces nombreuses épreuves ont dû avoir une influence sur cet accident dont l'Ingénieur des Mines n'a pu découvrir une autre cause, et il est intéressant de rapprocher cette explosion de celles survenues aux forges de Marnaval et d'Eurville qui figurent dans notre relevé sous les n[os] 26 et 27.

CALÉFACTION

De toutes les causes problématiques qui ont été mises en avant pour expliquer certaines explosions réputées mystérieuses, celle qui a exercé l'influence la plus néfaste sur leur étude est le phénomène de la *caléfac-*

tion, ainsi nommé par Boutigny, qui l'a étudié et qui l'a expliqué en disant que le liquide passe à l'*état sphéroïdal*.

Nous ne pouvons mieux faire que de rappeler ce qu'en a dit, dès les premières expériences, l'éminent chimiste Dumas :

« Il semble que l'eau doit s'évaporer d'autant plus vite que le vase « qui la renferme est plus chaud. Cependant l'expérience prouve que « si celui-ci est rouge ou rouge blanc, l'évaporation cesse presque « entièrement. Il n'est personne qui n'ait vu des gouttes d'eau projetées « sur une plaque de fer rouge, prendre tout à coup une forme sphérique « et se rouler sur la plaque pendant un temps bien plus long que celui « qui devrait être nécessaire à leur évaporation dans cette circonstance. « Divers observateurs ont cherché à éclaircir ce phénomène. M. Pouillet « l'a examiné récemment et il a vu qu'en laissant tomber goutte à « goutte de l'eau dans un creuset de platine chauffé au rouge blanc, on « pouvait le remplir à moitié et le conserver dans cet état pendant un « quart d'heure sans que l'évaporation fût sensible. Tantôt l'eau paraît « calme, tantôt elle est animée d'un mouvement giratoire ; mais jamais « il ne s'en dégage de vapeurs visibles. Si l'on enlève le creuset du feu « et qu'on le laisse refroidir, dès qu'il parvient au rouge-brun l'eau « entre tout à coup dans une violente ébullition et se transforme tout « entière en vapeur.

« Ce phénomène est difficile à expliquer...

« Quoi qu'il en soit, le fait est incontestable. Il doit mettre en garde « contre les dangers que présenterait une chaudière à vapeur portée « accidentellement à une température très élevée, car il pourrait arriver « qu'elle cessât de fournir de la vapeur et que pourtant un abaissement « de température en déterminât l'explosion. Les plaques de métal « fusible sont surtout utiles contre ce genre de danger, puisqu'elles « limitent la température que l'appareil peut acquérir, car il est « évident qu'une soupape ne serait plus soulevée au moment où ce « phénomène singulier se manifesterait. »

On comprend que les indications d'un tel savant aient fait loi : l'explication des explosions était ainsi ramenée à une formule aussi simple que plausible ; il n'est donc pas extraordinaire que les Ingénieurs des Mines l'aient acceptée d'emblée.

Cependant, peu de temps après, il fut reconnu que les plaques fusibles ne possédaient pas l'efficacité que Dumas avait signalée. La circulaire ministérielle du 24 juillet 1843 le dit en ces termes :

« Ces plaques avaient soulevé beaucoup d'objections.

« La Commission centrale des machines à vapeur s'est livrée, à ce

« sujet, à des expériences directes. Les faits qu'elle a constatés ont « montré que les rondelles ne fondent ou ne se ramollissent pas géné- « ralement au degré que leur timbre accuse, ni même à des degrés plus « élevés, lorsque la tension de la vapeur augmente rapidement; que, « par conséquent, elles n'offrent pas de garantie contre *ces accroisse- « ments brusques de tension qui seraient occasionnés par une circons- « tance accidentelle, et qui paraissent être les causes ordinaires des « explosions.*

« Ainsi, elles n'ont pas l'efficacité qu'on leur avait attribuée dans « l'origine, et qui avait porté à les prescrire. »

L'impuissance du remède aurait dû, il nous semble, faire douter de la réalité du principe, et les Ingénieurs des Mines, en instruisant les nombreuses explosions auxquelles ils ont attribué cette cause, reconnue maintenant comme irréalisable dans la pratique industrielle, n'ont pas dû établir leurs rapports sans incertitudes (1).

Au lieu des mots « *caléfaction* » ou « *état sphéroïdal* », on s'est servi plus généralement de l'expression mentionnée dans la circulaire minis

---

1. Le remède proposé par M. Dumas étant impuissant, M. Testud de Beauregard en a indiqué un autre; le voici :

« MESURES A PRENDRE LORSQU'UN GÉNÉRATEUR SE CONSTITUE A L'ÉTAT SPHÉROÏDAL

« C'est avec un feu violent et vivement conduit que se déclare cet état si dangereux; « mais qu'on ne s'y trompe pas, dangereux seulement par ses conséquences, car l'état lui- « même est inoffensif, son unique effet étant l'abaissement de la pression manométrique, « par suite du ralentissement spontané de la vaporisation. Mais dès qu'un appareil se « constitue à cet état, on peut, avec certitude, prédire l'explosion; elle aura lieu au « retour à l'état normal, au moment de la répartition égale de la chaleur, du rétablisse- « ment de l'équilibre calorifique.

« Cet état déclaré, l'explosion est imminente : on ne peut y échapper qu'avec un grand « sang-froid et en faisant le sacrifice de l'appareil. Dans ce cas solennel, voici la marche « *rigide* qu'il faut suivre : suspendre à l'instant même toute introduction de liquide dans « le générateur; soutenir l'intensité du foyer et l'augmenter s'il est possible, et l'œil « constamment fixé sur le manomètre, se tenir obligatoirement à la pression où l'on est « sans l'augmenter ni la diminuer; prendre tous les moyens possibles pour faire évacuer « l'eau de la chaudière sans secousses et en commençant d'abord très doucement. Le « sang-froid dans cette manœuvre, nous le répétons, est ici la seule chance de salut. Dans « ce cas extrême, le chauffeur et ses aides doivent avoir préalablement fait le sacrifice de « leur existence, car l'usine tout entière est prête à s'effondrer.

« Comme notre devoir est d'indiquer le danger dans toute sa réalité, ajoutons qu'au « moment où le chauffeur entreprend de pareilles manœuvres, il doit faire suspendre tout « travail dans l'usine, faire arrêter tout roulement de voitures et d'outils pouvant produire « le moindre choc. Si les moteurs sont en activité, il ne doit pas les arrêter, car, à cet « état terrible, une secousse dans l'air, un choc dans l'usine, peut instantanément rétablir « l'équilibre calorifique et faire voler le générateur en éclats. »

Nous regretterions de n'avoir pu faire connaître cette page émouvante.
S'il est ingénieur, nous savons aussi que M. Testud de Beauregard est un poète.

térielle précitée : « Accroissements brusques de tension occasionnés par une circonstance accidentelle », et surtout de cette circonstance accidentelle elle-même, qui n'est autre que l'alimentation sur tôles portées à haute température produisant l'état sphéroïdal.

Dans les calculs établis pour expliquer cet accroissement brusque de tension, on a considéré qu'une partie importante de la tôle était portée à une haute température par suite de la surchauffe due à l'abaissement du niveau de l'eau, et on a déduit la quantité de vapeur produite de la quantité totale de calorique emmagasinée dans cette tôle, en supposant que toute cette vapeur générée instantanément se constituait à une température et à une pression élevées.

Or, dans la pratique, l'alimentation ne se fait que graduellement, et même, dans la grande majorité des cas, la tôle n'étant pas complètement à sec, une *très faible partie* seulement de l'eau injectée est, successivement, en contact avec le métal porté à haute température.

Les calculs dont il s'agit seraient donc absolument erronés, et leur établissement même n'aurait aucun sens, s'ils ne s'appuyaient pas sur l'hypothèse que l'eau injectée ne se vaporise pas au fur et à mesure de son introduction dans la chaudière, et que cette vaporisation, ***suspendue par une cause spéciale comme la caléfaction***, ne se fait qu'après l'introduction d'une quantité d'eau très considérable dans le générateur.

Cette circonstance n'est pas, dans la pratique ordinaire, réalisable dans les chaudières à vapeur, et il est bien extraordinaire que l'Administration ait admis, comme cause d'explosion, ces accroissements brusques de tension, sans demander à l'expérience la confirmation industrielle des phénomènes constatés uniquement dans des essais de laboratoire.

Sans doute, des expériences pratiques de ce genre ne sont pas faciles, cependant on a pu en faire d'assez concluantes pour montrer que si l'état sphéroïdal peut être obtenu avec une quantité minime de liquide, il cesse d'en être ainsi dès que cette quantité est un peu considérable.

Nous citerons notamment les expériences faites par M. Romain de Swarte et M. Witz, lesquels n'ont en aucun cas constaté la formation de l'état sphéroïdal (1).

1. Les expériences de M. de Swarte ont été publiées dans les *Annales industrielles*, le 5 septembre 1886.

Les résultats des expériences de M. Witz ont été insérés au compte rendu de la séance du 22 février 1892 de l'Académie des sciences.

Dans une note ultérieure présentée à la même Académie, le 4 juillet 1892, M. Witz dit

M. Cornut a cité un fait remarquable qui a donné le même résultat. Dans un générateur de système ordinaire à deux bouilleurs, ayant :

55^{m2} 88 de surface de chauffe ;
1^{m2} 44 de surface de grille ;
11^{m3} 388 de volume intérieur,

on a alimenté sur tôles rougies sans accident. Voici du reste ses conclusions :

« Sur des tôles portées au rouge, on a pu, pendant vingt « minutes, injecter de l'eau qui sortait par les rivures dilatées et les « fentes des tôles, sans qu'aucune surélévation de pression ou accident « quelconque se produisît. Les tôles de coup de feu, au contraire, « s'étaient déjà embouties et fendues sous l'action du feu et de la faible « pression qui existait dans la chaudière. »

En 1890, M. Fletcher, Ingénieur en chef de l'Association de propriétaires d'appareils à vapeur de Manchester, fit des essais directs sur une chaudière dite de Cornouailles à deux foyers intérieurs.

Sous un feu poussé à outrance, les tôles furent portées au rouge sur une surface de plus de 1^{m2} et injectées d'eau à raison de 145 litres par minute.

Dans aucune des expériences il n'a eu à constater une pression anormale ; au contraire, dans presque toutes, aussitôt que l'on a commencé l'arrosage, la pression a baissé.

Nous pouvons donc conclure, avec M. Fletcher comme avec M. Cornut, que la projection d'eau froide sur les tôles des chaudières à vapeur portées au rouge n'amène aucune surélévation anormale de la pression.

EAU SURCHAUFFÉE

La théorie de l'eau surchauffée peut s'exprimer ainsi :

Quand un liquide est entièrement privé d'air par une longue ébullition, il se surchauffe, c'est-à-dire que sa température peut s'élever au-

---

que : « L'effet de Boutigny se produit toujours, sur une plaque rougie, quand le liquide « est en gouttes, donc en faible quantité ; il ne se produit plus quand l'eau est en trop « grande masse pour pouvoir affecter la forme sphéroïdale.

« La forme globulaire est donc requise pour la réalisation de la caléfaction. Le « Dr Berger, de Francfort, a obtenu des gouttes de 500 grammes d'eau ; c'est sans doute « un maximum. »

dessus du point normal d'ébullition; il emmagasine ainsi une certaine quantité de chaleur qu'il restitue brusquement, sous forme de vapeur, dans certaines circonstances.

Ainsi, dans des vases privés d'air, on a pu faire chauffer l'eau, à la pression atmosphérique, jusqu'à 150 et même 200° sans la faire bouillir.

Quand, par une circonstance quelconque, l'état de tension particulier qui constitue cette surchauffe, vient à être rompu, l'ébullition se produit; elle est brusque, accompagnée de projections, et, en quelques instants, tout le liquide est ramené à la température normale de vaporisation.

D'après M. Trèves, qui a présenté, à ce sujet, une note à l'Académie es Sciences, ce phénomène peut se produire dans les chaudières à vapeur.

Par suite de l'ébullition, ces appareils sont privés d'air.

Lors d'un arrêt, l'eau peut se surchauffer, et, au moment de la mise en train, le robinet ouvert, l'ébullition brusque peut se produire et la surélévation subite de pression qui en résulte causer une explosion.

En réalité, on est arrivé à obtenir de l'eau surchauffée dans des appareils de laboratoire, avec de grandes précautions; mais les essais tentés avec des appareils industriels n'ont donné aucun résultat appréciable.

Si un usinier craignait la production de ce phénomène dans son générateur, par suite des conditions particulières de son fonctionnement, il pourrait munir sa chaudière d'un manomètre enregistreur, et, si cet appareil décelait une surélévation accidentelle de pression, il y aurait lieu d'étudier les conditions dans lesquelles ce phénomène s'est produit, afin de prendre toutes dispositions utiles pour en éviter le retour.

Mais s'il est téméraire d'affirmer que tout soit faux dans cette hypothèse de la surchauffe appliquée aux générateurs de vapeur, il serait imprudent de s'en servir comme explication d'une explosion de chaudière, sans y être fondé par des preuves certaines.

EXPLOSION DE GAZ DANS LE FOYER ET DANS LES CARNEAUX

Les chauffeurs ont l'habitude, à l'arrêt journalier, de charger la grille, de couvrir ensuite le combustible avec du poussier, et de fermer le registre pour trouver, le matin, du feu et de la pression.

Le charbon distille pendant la nuit, et si le chauffeur ouvre d'abord

la porte et attise le feu, les gaz s'enflamment en produisant une explosion, ordinairement légère, mais qui peut quelquefois ébranler le fourneau et brûler l'ouvrier.

Le remède est simple, il consiste à pratiquer un trou dans le registre ou à faire en sorte qu'il ne se ferme pas complètement.

Dans tous les cas, le chauffeur doit, le matin, lever le registre quelques instants avant d'ouvrir la porte du foyer.

En réalité, cet accident fréquent et bien connu ne paraît pas avoir d'action sérieuse sur la chaudière.

Cependant, lors de la formidable explosion des 22 générateurs de Friedenshütte, qui ont été lancés dans toutes les directions jusqu'à de très grandes distances, plusieurs Ingénieurs ont attribué aux gaz explosifs une action prépondérante; ces générateurs étaient en effet chauffés par les gaz des hauts fourneaux.

L'importance de cette question étant des plus grandes pour la métallurgie, beaucoup d'installations semblables existant actuellement, cette explosion a été étudiée par un grand nombre d'Ingénieurs allemands.

Un véritable tournoi s'est engagé entre eux, les uns attribuant la catastrophe à l'expansion subite de la vapeur produite par une des chaudières explosées ; d'autres lui donnant, au contraire, pour cause l'explosion des gaz utilisés ; d'autres enfin y trouvant l'influence des deux causes réunies.

M. l'Ingénieur en chef, Olry, qui a fait au sujet de cet accident un très intéressant rapport, publié dans les *Annales des Mines*, et dont nous avons donné ailleurs les conclusions, pense que c'est à l'action de la vapeur seule qu'il faut l'attribuer.

L'explosion des gaz dans le foyer et dans les carneaux ne peut donc, croyons-nous, qu'occasionner un faible ébranlement de la chaudière ; cet ébranlement ne pourrait avoir d'influence sérieuse que dans le cas où le générateur se trouverait à la pression-limite de résistance, ainsi que nous l'avons expliqué, cas d'autant plus rare que ces explosions surviennent toujours au rallumage des feux, ce qui suppose nécessairement une extinction préalable.

ÉLECTRICITÉ. — DÉCOMPOSITION DE L'EAU ET INFLAMMATION DU GAZ OXYDRIQUE

Nous ne pouvons, ici, discuter ces causes hypothétiques d'explosion dont nous n'apercevons même pas les éléments dans les générateurs.

Nous ne les citons que pour mémoire. M. Testud de Beauregard en a cependant donné l'explication et le remède en ces termes :

« La décomposition d'une certaine quantité de liquide au sein même « du générateur, produisant des quantités équivalentes d'hydrogène et « d'oxygène aussitôt recomposées sous l'influence de l'électricité rendue « libre par le fait de la vaporisation, est évidemment la plus *rare*, car « cette décomposition spontanée d'une quantité d'eau, ne peut avoir « lieu (si elle se produit) que sous une influence électrique particulière. « Ici, la chaleur ne peut jouer aucun rôle, nous avons trop souvent « surchauffé la vapeur à de très hautes températures pour ignorer la « difficulté ou plutôt l'impossibilité d'en séparer les éléments constitu- « tifs à l'aide du calorique seul ; cette cause d'explosion doit donc victo- « rieusement être combattue en dégageant la chaudière de l'électricité « qu'elle contient, au fur et à mesure que naît cette électricité. Nous « affirmons donc, dans ce cas, pouvoir indiquer comme remède certain « l'application de la découverte de Franklin : quelques pointes de cuivre « dans l'intérieur de la chaudière communiquant par une chaîne de « métal conducteur à la terre humide ou mieux à un puits. »

INFLUENCE DU SYSTÈME DE CHAUDIÈRE SUR LES EXPLOSIONS

On ne peut pas dire que les divers systèmes de chaudières à vapeur en usage soient dangereux par eux-mêmes ; mais ils peuvent présenter certains inconvénients inhérents à l'agencement des diverses parties qui les composent, inconvénients qui s'aggravent avec l'excès de travail qu'on leur demande quelquefois, ainsi qu'avec l'eau que l'on emploie pour leur alimentation.

Nous ne connaissons pas de type de chaudière parfait.

Chacun d'eux présente des avantages et des inconvénients variables avec la façon dont l'appareil est conduit.

Les systèmes de chaudières à vapeur sont fort nombreux et leur examen général ne pourrait rentrer dans le cadre de cette étude. Mais les divers types, en usage courant, peuvent se répartir en un certain nombre de groupes présentant des caractères communs de sécurité que nous allons rapidement examiner.

CHAUDIÈRES CYLINDRIQUES

Les chaudières cylindriques sans bouilleurs sont d'une construction fort solide, toutes les tôles travaillent à l'extension.

Les dilatations sont libres, mais inégales ;

Le dégagement de la vapeur n'est pas contrarié ;

Les incrustations se déposent sur le coup de feu, mais l'accès intérieur est commode et le nettoyage facile.

CHAUDIÈRES CYLINDRIQUES TUBULAIRES

L'adjonction de tubes enlève aux chaudières cylindriques leur grande sécurité.

Les dilations restent inégales et ne sont plus libres; les plaques tubulaires sont soumises à des efforts répétés de flexion ;

Le dégagement de la vapeur, contrarié par les tubes, en facilite la surchauffe ;

L'accès intérieur n'est plus facile, le nettoyage est imparfait ;

Les incrustations qui se fixent aux tubes s'en détachent quelquefois subitement, sous forme de paillettes, s'amoncellent sur la tôle inférieure et déterminent le coup de feu.

CHAUDIÈRES CYLINDRIQUES A BOUILLEURS INFÉRIEURS

La construction de ces chaudières est solide, toutes les tôles travaillent à l'extension.

L'adjonction des bouilleurs d'un diamètre plus faible et moins chargé de maçonnerie rend les dilatations plus égales, le corps de chaudière étant moins chauffé; mais ces dilatations sont contrariées par la rigidité des cuissards.

Ces cuissards ont une section relativement faible, le dégagement de la vapeur est insuffisant, il se forme en conséquence des ciels de vapeur à la partie supérieure des bouilleurs.

L'accès de toutes les parties est commode et le nettoyage facile.

Lorqu'on emploie trois bouilleurs, leur chauffage est inégal, et quand le plan d'eau descend accidentellement au-dessous d'une certaine limite, le bouilleur central peut se vider alors que les deux autres restent pleins d'eau.

A la suite de l'explosion, survenue, le 14 avril 1871, à Fourmies, d'une chaudière cylindrique à trois bouilleurs, et qui a causé la mort du mécanicien et du chauffeur en produisant de graves dégâts matériels, il a été reconnu que « le bouilleur central s'est ouvert longitudi-
« nalement au-dessus du foyer sur une longueur de 1^{m} 80.
« Cette partie avait été sujette à des coups de feu... »

CHAUDIÈRES CYLINDRIQUES TUBULAIRES A BOUILLEURS INFÉRIEURS

En ajoutant des tubes au corps cylindrique du type précédent, on enlève une partie de la sécurité propre à ces générateurs ; leurs inconvénients sont ceux que nous avons déjà signalés pour les chaudières cylindriques tubulaires.

Le dégagement de la vapeur, contrarié par les cuissards, l'est aussi par les tubes, la masse de vapeur passant à travers le faisceau tubulaire, au droit de ces cuissards, devient une cause sérieuse de la surchauffe des tubes;

Les incrustations se détachent quelquefois des tubes et facilitent le coup de feu aux bouilleurs ; l'accès de ces bouilleurs reste commode, mais celui du corps tubulaire ne l'est pas.

On a cherché à faciliter l'accès du corps tubulaire en rendant les tubes mobiles, mais la possibilité de les retirer est plus apparente que réelle, et les joints deviennent moins étanches. Ces tubes ont du reste besoin d'une consolidation spéciale, et, si elle fait défaut, un accident est à craindre.

Les tubes du système Bérendorf, notamment, portent, à chaque extrémité, une bague tournée, avec une légère conicité établie *dans le même sens* ; ces bagues sont, du reste, *forcément*, de section différente; la résultante des pressions s'exerce sur la bague la plus forte, et tend à projeter le tube.

En raison de l'épaisseur de la bague, et pour conserver au tube son caractère démontable, ces organes ne doivent pas être mandrinés ; on les consolide par une contre-plaque percée de trous et fixée sur la plaque tubulaire par des goujons et des écrous.

L'absence de cette consolidation a produit beaucoup d'accidents, en voici quelques exemples :

L'explosion survenue le 23 novembre 1874 aux aciéries d'Assailly (Loire) concernant une « chaudière cylindrique horizontale avec tubes mobiles (système Bérendorf) est due, dit le rapport officiel, au départ « d'un des tubes. — Irruption d'eau bouillante et de vapeur hors de la « chaudière. Deux ouvriers chauffeurs légèrement blessés. — Cause de « l'accident : Desserrage de l'emboîtage conique du tube par suite des « dilatations successives du métal. Défaut de contre-plaque tubulaire.»

Une explosion semblable est survenue à une chaudière verticale tubulaire, le 29 mai 1870, dans un lavoir à Paris.

« La chaudière était à son premier essai ; elle fonctionnait depuis « plusieurs heures, quand un des tubes a été violemment projeté. L'eau « et la vapeur se sont échappées par l'orifice laissé libre. Deux ouvriers « ont été brûlés par la vapeur. »

Lors d'un accident survenu à une chaudière verticale tubulaire, le 17 juin 1882, dans une fonderie de La Fère, l'un des tubes s'est détaché des deux plaques tubulaires et a été lancé verticalement hors de la chaudière.

Le chauffeur a été brûlé aux jambes.

L'Administration donne à cet accident la cause suivante :

« Tube mal ajusté, ou trop étroit, ou insuffisamment serré ou man-« driné. »

D'après les explications que nous venons de fournir, il est facile de voir qu'aucune des causes indiquées par l'Administration n'est applicable à cet accident !

CHAUDIÈRES CYLINDRIQUES A BOUILLEURS LATÉRAUX

Ces chaudières présentent la même solidité de construction et la même commodité d'accès que les chaudières cylindriques.

Les dilatations sont libres, mais elles sont inégales ;

Le dégagement de vapeur n'est pas contrarié, les bouilleurs en produisant peu.

Mais ces bouilleurs servant de réchauffeurs peuvent être corrodés à l'extérieur par les produits de la combustion et, à l'intérieur, par l'air qui se cantonne à leur partie supérieure.

C'est le sort commun à tous les réchauffeurs de cette forme.

Enfin, par leur disposition, ces chaudières sont sujettes à provoquer des explosions par manque d'eau.

CHAUDIÈRES CYLINDRIQUES VERTICALES

Placées ordinairement à la suite des fours métallurgiques, ces chaudières sont exposées aux dilatations inégales, quoique libres, et à la surchauffe facilitée par l'accumulation de la vapeur qui longe les parois verticales.

Les tôles travaillent à l'extension, la construction est solide et l'accès facile ;

Les dépôts tombent et s'amoncellent au fond de la chaudière qui n'est pas soumis à l'action des flammes ;

Le dégagement de vapeur est contrarié par la hauteur du liquide, il s'en suit que lorsque la production est vive, il y a projection et entraînements d'eau.

CHAUDIÈRES CYLINDRIQUES A FOYER INTÉRIEUR

La construction des chaudières à foyer intérieur est beaucoup moins solide que celle des types qui précèdent ; les tôles du tube foyer travaillent à la déformation, et l'on sait qu'une déformation même faible a une influence très notable sur l'écrasement de ces foyers.

Les dilatations sont fort inégales et très contrariées ;

Le dégagement de vapeur est suffisant, cependant cette vapeur paraît suivre la tôle et se former en amas le long des génératrices moyennes supérieures. Les parties avoisinant ces génératrices se déforment souvent ;

Le nettoyage intérieur est difficile, mais il est d'une nécessité moins immédiate, car les dépôts tombent à la partie inférieure qui n'est pas chauffée ;

La réserve d'eau au-dessus du foyer est faible, un défaut d'alimentation, un oubli du chauffeur mettent la tôle en danger.

Lors de l'explosion d'une chaudière de ce type, survenue à Roanne, le 10 juin 1880, due assurément au manque d'eau, le directeur de l'usine a déclaré qu'à 11 heures et demie, le tube indicateur contenait de l'eau ; à midi, le feu a été couvert et la machine arrêtée ; à 1 h. 25, le chauffeur releva son registre et l'explosion eut lieu quelques minutes après. Le foyer était embouti et déchiré sur une longueur de 0 m. 80 (Cornut, 1889, n° 10).

CHAUDIÈRE GALLOWAY

La chaudière Galloway a tous les inconvénients de la précédente dont elle ne diffère que par l'adjonction de tubes bouilleurs tronconiques rivés sur les parois du foyer.

Les collets de ces bouilleurs dits tubes Galloway supportent des efforts considérables, mais consolident les tôles du foyer.

On rend l'accès intérieur de cette chaudière possible en donnant à l'enveloppe du foyer un très grand diamètre, ce qui nécessite une construction soignée.

CHAUDIÈRES CYLYNDRIQUES TUBULAIRES A FOYER INTÉRIEUR

Ces chaudières s'obtiennent en ajoutant à la suite du foyer intérieur, ou par dessus ce foyer, des tubes de fumée.

Ces tubes contrarient le dégagement de la vapeur, et, lorsque leur nombre et leur rapprochement sont portés au maximum, il y a surchauffe habituelle et, par suite, écrasements fréquents.

Pour les chaudières dites à tubes de retour, le foyer est suivi d'une panse ou vaporisateur d'une construction difficile.

L'accès intérieur devient impraticable dans les cas ordinaires, on y pourvoit quelquefois en donnant à l'enveloppe un diamètre très considérable. Les plaques d'avant, de fond, et celles de la boîte à fumée restant planes, l'ensemble nécessite tout un système de tirants, d'entretoises, d'armatures, de goussets, etc. La construction est ainsi fort compliquée et le bris de quelques-uns de ces accessoires, difficiles à visiter et à remplacer, compromet la solidité de l'appareil. D'autres fois on rend le foyer et le faisceau tubulaire amovibles, ce qui permet de les visiter et de les nettoyer plus facilement.

Cette partie amovible s'assemble avec l'enveloppe à l'aide de boulons et d'une rondelle de caoutchouc.

Ce joint, difficile à exécuter, est rarement étanche, il cède quelquefois par suite du bris des boulons, et le foyer est alors projeté en causant des dégâts terribles.

CHAUDIÈRES VERTICALES A FOYER INTÉRIEUR

Dans ces chaudières, la dilatation, quoique contrariée, est sensiblement égale sur chaque circonférence, mais les parties intérieures des cheminées, aussi bien que les assemblages du foyer et de son enveloppe sont soumis à des efforts et à des variations de température considérables.

Ces efforts transmis aux parties cylindriques ou bombées, servant d'attache, y produisent des flexions répétées qui occasionnent des fissures ou des cassures dangereuses.

La réserve d'eau au-dessus du foyer est encore plus faible que pour les chaudières horizontales, un défaut d'alimentation devient immédiatement dangereux;

La vapeur produite longe la tôle du foyer et facilite la surchauffe. Cette action est augmentée par la faible distance qui existe souvent entre le foyer et son enveloppe, l'espace annulaire se charge de vapeur, surtout vers l'orifice de dégagement;

Les matières incrustantes se déposent à la partie inférieure qui est en contact avec le charbon incandescent, il est donc nécessaire de faire de nombreux nettoyages qui sont difficiles à exécuter;

Les réparations de ces chaudières sont difficiles et toujours dispendieuses.

Pour augmenter la surface de chauffe, on munit ces appareils d'organes divers que nous pouvons examiner, eu égard à la sécurité :

Les *bouilleurs croisés* produisent des flexions alternatives des tôles du foyer, mais ils les consolident en les entretoisant.

Des tampons placés sur l'enveloppe permettent du reste de les nettoyer facilement.

Les *tubes bouilleurs verticaux* dit *tubes Field* se garnissent de matières incrustantes à leur partie inférieure, qui est exposée à une température très élevée ; la circulation particulière à ces tubes s'annule alors rapidement et ils se brûlent (1).

En parlant des chaudières multitubulaires, nous examinerons avec plus de détails l'action du feu sur ces tubes.

Les *tubes de fumée verticaux* traversent le réservoir de vapeur ; par leur volume, ils diminuent la réserve d'eau au-dessus du foyer, par leur agglomération, ils facilitent le primage et les incrustations.

Il faut une grande attention dans la marche pour éviter le manque d'eau.

Cette grande instabilité du niveau d'eau donne lieu à des dilatations très variables du faisceau qui font fléchir alternativement les plaques tubulaires.

Enfin, l'extrémité inférieure des tubes est détériorée rapidement par l'action rayonnante du foyer.

CHAUDIÈRES TUBULAIRES A FOYER INTÉRIEUR VERTICAL.

Ces chaudières sont très employées pour locomobiles et pour locomotives.

---

(1) L'explosion d'une chaudière verticale à foyer intérieur et tubes Field, survenue le 9 octobre 1874, dans une fonderie à Paris, est due à la « rupture d'un des tubes « bouilleurs. L'échappement de l'eau et de la vapeur par l'ouverture qui en est résultée » a atteint le chauffeur, qui est mort des suites de ses brûlures.

« Le tube qui s'est déchiré avait un diamètre de 75 millimètres. A son intérieur, il « s'était formé comme un tube concentrique en tartre fortement adhérent, d'une épaisseur « de 1 centimètre. Le métal était donc isolé de l'eau et il s'était peu à peu brûlé et « aminci ; son épaisseur, à l'origine, était de deux millimètres et demi ; elle avait diminué « sur le parcours des flammes de manière à n'être plus que de 0,4 millimètres au point « qui a cédé. »

Les dilatations sont contrariées, les tubes actionnent le foyer et tendent à le disloquer ;

Par leur poids, aussi bien que par leur dilatation, les tubes agissent sur les plaques tubulaires, les fissurent, les fendillent et même les cassent ;

Les tôles du foyer, généralement planes, travaillent essentiellement à la déformation, elles doivent être consolidées par un système compliqué de supports, de tirants, d'armatures et d'entretoises ;

La faible épaisseur de la lame d'eau entre le foyer et la boîte à feu facilite la surchauffe des tôles qui devient souvent très forte à la partie latérale supérieure du foyer ;

Le nombre et le rapprochement des tubes étant portés au maximum, le dégagement de la vapeur est insuffisant et ces tubes se détériorent rapidement ;

Le nettoyage intérieur est très difficile à exécuter, les réparations sont fréquentes et dispendieuses.

Ces appareils nécessitent un entretien non interrompu, et, malgré les soins et l'attention qu'on leur prodigue, les chaudières de locomotives sont l'objet de nombreux accidents.

CHAUDIÈRES MULTITUBULAIRES

Les chaudières multitubulaires, auxquelles on a trop gratuitement donné le nom d'inexplosibles, sont actuellement considérées comme produisant, au contraire, un plus grand nombre d'accidents que les systèmes qui les ont précédées.

Si les dégâts matériels que leurs explosions occasionnent sont atténués par la faible capacité de leurs éléments, le nombre des victimes semble être, par contre, relativement plus considérable.

Ces chaudières ont même introduit de nouvelles causes de dangers, et, pour cette raison, nous devons en parler un peu plus longuement.

Nous appelons multitubulaires des chaudières à foyer extérieur, dont la surface de chauffe est principalement composée d'un ou de plusieurs faisceaux de tubes remplis d'eau dits *tubes bouilleurs*.

Cette définition est l'extension de celle donnée par M. Vinçotte, auquel nous devons une étude savante sur ces chaudières.

Les tubes des chaudières multitubulaires n'étant pas tous soumis à la même température, il conviendrait que leur dilatation fût libre.

Plusieurs systèmes offrent cet avantage.

Dans les autres, les tubes les plus chauffés se déforment en amenant

la dislocation des éléments, et en brisant les boîtes d'accouplement d'où ils se détachent quelquefois.

Cependant il ne faudrait pas racheter ce défaut par un autre.

« Dans certains types de générateurs, dit M. Vinçotte, les tubes ne « sont fixés qu'à une de leur extrémité ; l'autre extrémité est libre et « elle est bouchée par une fermeture que l'on fixe quelquefois au « moyen d'un boulon intérieur longitudinal, ayant à peu près la lon- « gueur du tube, ou au moyen d'un tube ou d'une cloison intérieure « servant à produire la circulation de l'eau.

« Ces boulons, ou tubes intérieurs, sont naturellement à la tempéra- « ture de l'eau et ne peuvent pas suivre les dilatations et les déforma- « tions que les tubes prennent sous l'action du feu. Il en résulte des « efforts énormes qui rendent, en général, les joints très difficiles à « faire, mais qui, dans plusieurs circonstances, ont cassé les boulons. « Dans ce cas, le tube est, en général, projeté et la chaudière se vide « violemment.

« Je crois que ce système de construction doit être condamné, tant à « cause de ses inconvénients pratiques que pour les dangers qu'il occa- « sionne » (1).

« Il faut également condamner les communications en cuivre que « plusieurs constructeurs ont établies entre les réservoirs d'eau et de « vapeur et les faisceaux tubulaires, et qui ont pour but de donner de « l'élasticité à l'ensemble.

« Les courants d'eau et de vapeur qui traversent ces communications « sont assez rapides pour que les sables et les boues usent le cuivre et « le réduisent à une épaisseur dangereuse. Cette usure se fait surtout « dans les coudes, à des endroits ordinairement invisibles.

« Deux hommes furent tués, il y a quelques années, par la rupture « d'une de ces communications... »

La transformation de l'eau en vapeur produit une augmentation énorme de volume ; il ne faudrait donc pas toujours prendre pour un effet de la circulation le crachement considérable qui est souvent causé par un entraînement mécanique. Dans plusieurs systèmes, cette circu- lation est, au contraire, insuffisante et le dégagement de la vapeur

---

(1) Les explosions des 6 février et 10 juillet 1887, survenues à Rouen, sont dues à la rupture de tubes tirants qui relient les bouchons des tubes vaporisateurs d'un système de chaudières multitubulaires, soit par dilatations inégales, soit par l'action du chauffeur essayant de serrer le tube qui fuyait. Dans les deux cas, les chauffeurs ont été brûlés.

contrarié. Les tubes ne contenant alors que très peu d'eau ou ne renfermant même que de la vapeur se surchauffent et se brûlent.

Cet effet est proportionnel à la longueur des tubes.

Les chaudières à tubes dits Field sont les mieux partagées à cet égard. Qu'ils soient verticaux, obliques ou horizontaux, ces tubes débouchent directement dans le corps de chaudière et leur longueur est toujours restreinte. Quand ils sont placés horizontalement, cette longueur ne doit pas dépasser dix fois la dimension de leur diamètre.

Les matières incrustantes sont une cause sérieuse d'avaries dans ces chaudières.

Ces matières agissent non seulement par l'épaisseur des dépôts qu'ils forment sur les parois des tubes, mais encore par des amas locaux produisant l'obstruction complète de certaines communications ; l'eau n'a dès lors plus d'accès dans les tubes qui se brûlent.

C'est dans les tubes Field verticaux ou inclinés que l'inconvénient causé par les matières incrustantes est le plus grand : ne trouvant pas ici, comme dans les chaudières à foyer intérieur, de place réservée à leur dépôt, ces matières s'accumulent à la partie inférieure des tubes qui se brûle alors rapidement.

Les tubes Field horizontaux sont, au contraire, les mieux partagés à cet égard, les matières entraînées par le courant liquide ont une tendance à s'échapper hors des tubes, et à se déposer au fond de la chaudière.

Nous avons indiqué, précédemment, les moyens employés pour prévenir les incrustations ou pour s'en débarrasser ; le nettoyage est surtout ici à recommander.

Le facilité de ce nettoyage est très variable suivant les systèmes. Les uns comportent des autoclaves en nombre égal à celui des tubes, d'autres des boîtes raccordant deux tubes à la fois ; dans quelques systèmes, une même fermeture sert à plusieurs tubes, enfin, dans plusieurs, les mieux partagés sous ce rapport, tous les tubes aboutissent au corps de chaudière et leur accès ne nécessite aucune manœuvre spéciale..

La multiplicité des joints augmente les fuites, et, dans certains types, il est bien difficile d'obtenir l'étanchéité. Du reste, certaines actions détruisent l'effet du joint et brisent même les raccords et les assemblages.

M. Cornut (1889) en donne plusieurs exemples, les uns dus à l'action seule des dilatations, les autres au serrage des boulons fait pour étancher le joint. Voici comment il explique l'un de ces accidents :

« Le chauffeur s'étant aperçu que l'une des boîtes supérieures fuyait « et ayant remarqué que deux boîtes réunies par le même étrier n'étaient « pas sur le même plan, s'imagina d'interposer entre l'une dès « branches de l'étrier et son alvéole, un morceau de fer. Il serra le bou- « lon; mais le même joint ayant recommencé à fuir, il fit un tour de « clef en marche ; pendant cette opération, l'étrier glissa de la plaque « de fer, la boîte fut repoussée et l'ouvrier fut brûlé ainsi qu'un aide « qu'il avait appelé. »

Il donne pour un autre l'explication suivante :

« Le joint des tubes avec les boîtes se fait à l'aide de bagues en car- « ton cuir de 1/2 millimètre d'épaisseur.

« La chaudière se trouvait en pression depuis quelques heures, « quand le machiniste constata une fuite au joint d'un tube et d'une « boîte de raccord. Malgré la défense qui lui avait été faite, il voulut « serrer les boulons en marche et se contenta de laisser tomber la pres- « sion de 6 kilogr. à 4 kilogr. Sous l'effort qu'il fit, la partie supérieure « de la boîte se rompit et un jet d'eau et de vapeur vint le frapper « ainsi que le chauffeur qui se trouvait à proximité ; tous deux mou- « rurent quelques heures plus tard. Un troisième ouvrier fut aussi « grièvement blessé.

« La fonte était de bonne qualité, et l'aspect de la cassure indiquait « qu'elle était toute fraîche.

« Ce fait prouve que, dans ces types de chaudières, appelées à tort « inexplosibles, il faut prendre les plus grandes précautions si on veut « éviter ces sortes d'accidents, qui sont assez fréquents. »

C'est la surchauffe produite par les incrustations ou par l'accumulation de vapeur qui déchire les tubes.

M. Vinçotte établit que ce déchirement est facilité par la mauvaise soudure, beaucoup de tubes n'ayant qu'un recouvrement très faible.

« Sur le nombre, déjà considérable, de tubes qui ont fait explosion à « la soudure, dit-il, il n'y en a aucun où celle-ci atteignait 10 millimètres « de recouvrement et il est même rare qu'en pareil cas on trouve « 5 millimètres. »

Il estime que, pour ces tubes, il y a lieu d'imposer un recouvrement de 18 à 20 millimètres et de faire des essais sérieux lors de leur réception.

Quelle que soit la cause de la surchauffe dans les chaudières multitubulaires, les accidents qui en résultent paraissent se produire de la façon suivante :

Sous l'action d'une surchauffe même légère, lorsque la soudure du

tube est mal faite, elle se décolle ; soit parce que le recouvrement est insuffisant, soit pour toute autre cause, et le tube s'ouvre sur une longueur souvent assez grande pour que l'eau et la vapeur qui s'en échappent brûlent les personnes placées à proximité du générateur.

Une explosion survenue le 17 juillet 1881, à la papeterie de La Haye-Descartes (Indre-et-Loire) et qui a causé la mort du chauffeur, est due à l'ouverture d'un tube de chaudière multitubulaire par suite « d'un défaut de soudure, aidé peut-être d'une légère incrustation « intérieure ».

L'explosion d'une chaudière Field, survenue le 24 juillet 1881, à Mohon, est due à la rupture d'un « tube qui s'est décalotté par suite « d'une mauvaise soudure. La flamme a été refoulée par la vapeur et « l'eau et a brûlé le chauffeur. »

Lorsque, au contraire, la soudure est suffisamment résistante, sous l'action de la surchauffe ordinaire, le métal se corrode, diminue d'épaisseur et se crevasse.

Le jet d'eau ou de vapeur n'a, dans ce cas, la plupart du temps, qu'une faible importance et ne donne lieu à aucun accident grave.

Si toutefois le tube reçoit le coup de feu il se formera une bosse sous la partie rougie, quand le métal est ductile ; si le métal est aigre, le tube s'ouvrira et produira l'explosion.

Suivant M. Vinçotte, les causes les plus ordinaires des explosions des générateurs multitubulaires peuvent se chiffrer ainsi :

Les mauvaises soudures de tubes, environ.	50 %	du nombre total des explosions de chaudières à tubes d'eau.
Les déchirures de tubes par coup de feu ou par corrosion. . . .	30 %	
Les autres causes.	20 %	

En commençant par les plus fréquentes, ces dernières peuvent se résumer ainsi :

Rupture de tirants intérieurs aux tubes ;

Tubes se détachant des pièces auxquelles ils sont réunis par serrage ;

Rupture de communications en cuivre, réunissant les divers éléments de la chaudière.

MÉTHODE DE LIBERTÈ RATIONNELLE

Nous avons montré que, d'une façon générale, les règlements diminuent la responsabilité du constructeur et de l'industriel, donnent une sécurité trompeuse, et qu'en France notamment, ces règlements sont défectueux et mal appliqués.

Il nous paraît donc préférable à tous égards de laisser aux fabricants et aux propriétaires d'appareils à vapeur toute liberté dans la construction et dans la conduite de ces appareils, sous leur responsabilité, qui est, assurément, la garantie la plus efficace de la sécurité.

Mais cette responsabilité doit être absolue, c'est pourquoi nous pensons que les constructeurs et les industriels doivent faire connaître les mesures qu'ils prennent pour éviter les accidents inhérents à ces appareils.

Une explosion survenant, l'Ingénieur des Mines, l'Expert judiciaire auront de suite sous les yeux des éléments précieux pour étudier la cause de l'accident et établir leur opinion sur les responsabilités encourues.

Nons pensons également qu'en éloignant les appareils à vapeur des constructions et de la voie publique, à une distance proportionnelle à leur force explosive, on diminuera les conséquences des accidents sans trop entraver la liberté d'action de l'exploitant.

Voici dans ses grandes lignes l'exposé de notre méthode :

Les chaudières, les récipients et tous appareils clos, contenant de la vapeur d'eau à une température dépassant cent degrés, doivent être considérés comme appareils à vapeur.

Tout appareil à vapeur en fonctionnement devra porter au moins une médaille apparente, indiquant la pression qui a servi de base à l'épreuve et poinçonnée par les Ingénieurs des Mines ou des Ponts et Chaussées après essai fait à la presse hydraulique devant eux.

Cette épreuve aura lieu chez le constructeur de l'appareil, à une pression dépassant d'un quart celle marquée sur la médaille, sans que l'excès de pression puisse jamais être supérieur à 1 kilogr. par centimètre carré.

Avant qu'il soit procédé à l'épreuve, le constructeur devra remettre à l'Ingénieur de l'Etat :

1° Un dessin géométrique complet de l'appareil, avec indication des dimensions, des épaisseurs et de la nature des matières employées ;

2° Les résultats authentiques, avec indication de l'allongement proportionnel, des essais à la traction des tôles employées, lesquelles devront d'ailleurs porter, d'une façon apparente, la marque du fabricant ;

3° Un certificat d'une visite extérieure et intérieure de l'appareil, mentionnant si des défauts de construction ou de matière ont été constatés, indiquant alors leur nature et leur importance et signalant les parties de l'appareil qui n'ont pu être visitées.

Lors de l'épreuve pendant laquelle toutes les parties extérieures de l'appareil devront être libres et sans enduit, le constructeur ne pourra faire aucune opération sur l'appareil, soit pour arrêter des fuites, soit pour tout autre motif.

L'Ingénieur devra noter en indiquant, suivant son appréciation, leurs causes, quelles qu'elles soient :

1° Toutes les fuites jaillissantes qui se manifesteront à l'appareil ;

2° Tous les suintements qui proviendraient d'une fente, cassure ou défaut des tôles ;

3° Toutes les déformations qui ne disparaîtraient pas aussitôt que l'épreuve serait terminée.

L'Ingénieur portera son attention, avant et après l'opération, sur les défauts visibles signalés dans le certificat, et constatera si l'épreuve en a fait surgir de nouveaux.

La pression d'épreuve sera maintenue pendant toute la durée de son examen.

Cet examen achevé, il fera fermer le robinet qui devra exister entre la presse hydraulique et l'appareil, et il constatera la diminution de pression indiquée par le manomètre pendant une durée de 5 minutes.

Si la pression devenait nulle avant ce temps, il noterait le nombre de minutes écoulées.

Toutes ces indications seront transmises sur un procès-verbal, et la position des fuites ou défauts des tôles indiquée sur le dessin.

L'épreuve terminée, l'Ingénieur fera frapper la médaille du poinçon de l'Etat, et fera inscrire, devant lui, des chiffres indiquant la date de l'épreuve.

Si la pression d'épreuve n'avait pu être atteinte et maintenue après une tentative restée infructueuse pendant une demi-heure au plus,

l'épreuve sera considérée comme terminée, l'appareil non poinçonné, et mention spéciale en sera faite sur le procès-verbal d'épreuve, avec indication de la cause, suivant appréciation de l'Ingénieur.

Une nouvelle épreuve pourra avoir lieu, mais dans une séance ultérieure.

Les appareils neufs venant de l'étranger seront soumis aux mêmes formalités, chez un constructeur ou chez le destinataire des appareils.

Si, postérieurement à l'épreuve, une médaille poinçonnée venait à se détacher ou à n'être plus distincte, par usure ou autrement, il pourra y être suppléé par le poinçonnage d'une nouvelle médaille, mais sous la condition de renseignements probants, ainsi acceptés par le Préfet du département.

La nouvelle médaille portera la date de l'épreuve primitive.

Les Ingénieurs de l'Etat ne pourront procéder à l'épreuve d'aucun appareil à vapeur ayant déjà fonctionné ou construit avec des tôles ayant déjà servi.

Tout appareil à vapeur ne devra fonctionner qu'après une déclaration adressée, par celui qui doit en faire usage, au Préfet du département.

Cette déclaration, enregistrée à sa date, et dont il sera donné acte, fera connaître le nom et le domicile du constructeur de l'appareil, le numéro du timbre et les chiffres indiquant la date de l'épreuve.

Elle sera accompagnée d'un certificat de visite indiquant l'état général de l'appareil et mentionnant les appareils de sûreté et les dimensions des soupapes, avec indication, suivant la pression de marche, de la charge qu'elles doivent supporter, directement ou par l'intermédiaire du levier.

Ce certificat comportera :

1° Un dessin géométrique complet de l'appareil qui sera, autant que possible, la reproduction de celui fourni par le constructeur lors de l'épreuve ;

2° Un plan général, indiquant la position de l'appareil par rapport à son voisinage, dans un rayon de dix mètres au moins de toute partie de l'appareil, ainsi que sa plus courte distance cotée par rapport aux parements des murs, des plafonds, des supports d'ateliers comportant des étages et de la voie publique.

Cette plus courte distance aura une valeur minima qui sera fonction :

1° De la capacité de l'appareil ;

2° De son plus grand diamètre ;

3° De la pression indiquée par le timbre.

La distance imposée ne peut être supérieure à 10 mètres.

Avant l'expiration de chacune des années qui suivra celle fixée par la date de la déclaration, l'exploitant, ou, à son défaut, le propriétaire, devra adresser, au Préfet du département, deux certificats de visite de l'appareil à vapeur; l'un concernant les parties accessibles, internes et externes de l'appareil au repos, le second concernant les parties visibles de l'appareil en marche ainsi que les appareils de sûreté.

Ces certificats indiqueront l'état dans lequel les appareils auront été trouvés, les corrosions, fentes, cassures et autres défauts qui auront été constatés, avec une appréciation sur l'importance de ces défauts et sur la solidité de l'appareil à vapeur. Ils mentionneront les parties qui n'ont pu être examinées de près, en indiquant dans quelles limites la sécurité peut être compromise par cette absence d'examen.

Enfin, ils donneront un avis sur la limite pratique de sécurité ou pression de marche qui ne devrait pas être dépassée, avec indication de la charge correspondante à appliquer aux soupapes de sûreté.

Tout chômage, ayant duré plus d'une année entière, sera mentionné sur le certificat de visite extérieure qui sera seul fourni dans ce cas. Mais, avant la nouvelle mise en marche de l'appareil à vapeur, la visite intérieure sera effectuée, et le certificat adressé au Préfet.

Toute réparation à un appareil à vapeur sera faite sous la responsabilité de l'exploitant et de l'entrepreneur; ce dernier devra adresser au Préfet du département un certificat de réparation accompagné d'un dessin représentant les parties réparées ou changées, avec indication du résultat de l'épreuve s'il en a été faite une.

Les certificats d'épreuves, de visites et de réparations ci-dessus mentionnés seront délivrés, avec les renseignements qu'ils doivent comporter, en double expédition, soit par un Ingénieur assermenté à cet effet, ancien élève breveté ou diplômé d'une Ecole nationale des Arts et Métiers, des Arts et Manufactures ou des Mines, soit par un Inspecteur, dispensé du serment, d'une Association de propriétaires d'appareils à vapeur reconnue par l'Etat, avec visa de l'Ingénieur en chef de l'Association.

En cas d'explosion, les signataires pourront être recherchés, en raison des certificats qu'ils auront délivrés, au même titre que les constructeurs et les propriétaires d'appareils à vapeur.

Pour les locomobiles, montées sur roues, le plan général d'installation ne sera pas fourni, mais les conditions d'éloignement par rapport aux constructions, aux supports d'ateliers surmontés d'étages et à la voie publique n'en subsistent pas moins.

Chaque chaudière de locomobile portera, rivée sur elle, une plaque

sur laquelle seront gravés, en caractères très apparents, le nom et le domicile du propriétaire, ainsi que la distance, exprimée en mètres qui doit toujours la séparer, en fonctionnement, des constructions ou de la voie publique.

La circulation des locomobiles sous pression, des locomotives et des bateaux à vapeur ne peut avoir lieu sans une autorisation spéciale délivrée par le Préfet du département, qui en déterminera les conditions.

En cas d'accident ayant occasionné la mort ou des blessures, le chef de l'établissement doit prévenir immédiatement l'autorité chargée de la police locale, le Procureur de la République et l'Ingénieur des Mines.

L'Ingénieur se rend sur les lieux, dans le plus bref délai, pour visiter les appareils, en constater l'état et rechercher les causes de l'accident.

Il rédige sur le tout :

1° Un rapport qu'il adresse au Procureur de la République et dont une expédition est transmise à l'Ingénieur en chef, qui fait parvenir son avis à ce magistrat ;

2° Un rapport qui est adressé au Préfet par l'intermédiaire et avec l'avis de l'Ingénieur en chef.

De son côté, le pouvoir judiciaire désigne, d'urgence, un expert ayant même mission.

L'expert judiciaire rédige également un rapport qu'il adresse au Procureur de la République et dont une expédition est transmise au Ministre de la Justice.

En cas d'explosion, les constructions ne peuvent être réparées, et les fragments de l'appareil rompu ne doivent point être déplacés ou dénaturés avant la constatation de l'état des lieux par l'Ingénieur des Mines et par l'expert judiciaire.

TABLE DES MATIÈRES

Pages.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

CHAUFFEURS-MÉCANICIENS

Quand on examine tout ce qui constitue le service du chauffeur, on est surpris de la quantité de travail et de soins qu'on exige de lui.

D'abord, quand il ne fait qu'office de chauffeur, il a ordinairement plusieurs chaudières à entretenir ; s'il n'en a qu'une, il conduit la machine.

Le chauffeur doit arriver à l'usine longtemps avant les autres ouvriers ; il en sort toujours le dernier ; et, même pendant les heures des repas, il ne doit pas quitter sa chaudière.

Son travail surpasse donc en durée celui de tout autre ouvrier.

Sa besogne est, ensuite, particulièrement pénible : placé dans une fosse profonde à laquelle on a donné le nom caractéristique d'*enfer*, tant à cause de la chaleur intense qui s'y développe que par suite de l'air vicié et mélangé de poussière qu'on y respire, il est souvent obligé de gravir à chaque instant une haute échelle pour remplir les divers services qu'on réclame de lui.

Sa position est dangereuse autant que pénible : la mise en train de la machine en poussant au volant, le graissage de tous les organes en marche ainsi que celui des transmissions, la pose des courroies sans arrêt des poulies, etc., sont des travaux fort dangereux. La vapeur s'échappant des soupapes, les gouttes d'eau bouillante tombant des robinets, le bris du tube indicateur, brûlent ou blessent le chauffeur. Quand une explosion survient, c'est lui qui est d'abord atteint, et, ainsi que nous l'avons dit, les brûlures de l'eau bouillante et de la vapeur ne pardonnent guère dans ce cas.

Mais, dit-on, ces explosions sont produites, la plupart du temps, par l'incurie du chauffeur.

En principe, nous ne croyons pas à une pareille incurie, le chauffeur craint le danger comme toute autre personne, et ne pousserait pas sa négligence jusqu'à exposer sa vie.

Mais le chauffeur, tué lors de l'accident, ne peut se défendre ; et, lorsqu'il survit, on ne croit généralement pas à ses affirmations ; il est donc toujours bien facile de l'accuser d'une négligence qui est, dans tous les cas, une explication commode de l'accident.

Le rapport officiel sur l'explosion d'un lessiveur sphérique, survenue, le 22 mai 1867, à la papeterie de l'Abbaye, porte la mention suivante :

« L'explosion a eu lieu de nuit; les circonstances en sont restées « inconnues.

« Cause présumée de l'explosion : inconnue. (*Très probablement,* « *incurie du chauffeur.*) »

Tout commentaire serait superflu !

Nous avouons, cependant, que le chauffeur est quelquefois imprudent; mais cette imprudence est toujours basée sur quelque raison que nous allons mentionner et, surtout, sur la crainte de perdre sa place.

Il paraît très simple de dire que, dans certaines circonstances, le chauffeur doit jeter bas les feux, suspendre le fonctionnement de la machine, soulever les soupapes de sûreté, etc., mais, dans la pratique, le propriétaire ne l'entend pas ainsi; il faut que son usine marche, et, si elle ne fonctionne pas, le chauffeur est un incapable et doit être congédié.

Les industriels sont autorisés à le croire par les affirmations d'ingénieurs qui ont traité ce sujet.

Quand le chauffeur ne voit plus l'eau dans le tube en verre, dit M. Callon, Inspecteur général des Mines, dans son *Cours de Machines,* « il doit, sans hésiter, *ouvrir en grand la porte du foyer et jeter bas les* « *feux.*

« Il ne se décide pas toujours à cette extrémité, pour ne pas trou- « bler le travail de l'usine, et dénoncer lui-même sa propre négligence. « Mais, s'il ne le fait pas, il court le risque d'occasionner un accident « dont il aura la responsabilité directe, à moins qu'il n'en soit lui-même « la première victime. »

Cette manière de voir est inexacte. En admettant que la négligence du chauffeur soit une cause sérieuse de l'abaissement extraordinaire du niveau de l'eau, ce que nous contestons, elle est loin d'être la seule, comme nous le prouverons.

Dès lors, en autorisant l'industriel à admettre que, *dans tous les cas,* l'abaissement du niveau provient de la négligence du chauffeur, c'est forcer ce chauffeur, *dans tous les cas,* à ne pas jeter bas les feux, c'est-à-dire l'engager à faire le contraire de ce qu'on lui demande.

C'est très regrettable.

Suivons le travail du chauffeur.

L'allumage du feu, le graissage de la machine et des accessoires sont ses premiers soins du matin ; de grandes précautions lui sont déjà recommandées, tant pour éviter l'augmentation brusque de la chaleur produisant des avaries à la chaudière, que pour parer aux dangers pouvant être occasionnés par les matières qui se sont déposées, pendant l'arrêt de la nuit, sur les tôles placées au-dessus du foyer ; enfin, pour ne pas laisser dépasser la pression du timbre, la machine n'étant pas encore en activité.

Mais, dès le début du chauffage matinal, se présente une circonstance grave : les appareils du niveau peuvent ne pas indiquer l'eau.

Cet abaissement du niveau provient d'abord de la diminution de volume du liquide produite par le refroidissement nocturne et proportionnelle à l'abaissement de température ; il peut provenir encore d'une vaporisation qu'a occasionnée la chaleur emmagasinée par le fourneau, ou de la condensation de la vapeur existant dans certaines parties du générateur qu'on a désignées sous le nom de chambres de vapeur, ou enfin de fuites qui se déclarent à la chaudière.

Quelques-unes des circonstances qui produisent l'abaissement nocturne du niveau de l'eau sont normales, mais elles sont variables avec le type et les dimensions de la chaudière ; le chauffeur doit les connaître et en apprécier l'importance, à moins d'être réellement incapable ; mais la négligence doit être ici écartée, le chauffeur, quel qu'il soit, a certainement laissé de l'eau la veille dans sa chaudière à un bon niveau.

Les autres circonstances sont anormales, l'ouvrier ordinaire n'y songe pas, le chauffeur très capable peut seul les prévoir, et, quelquefois, mais rarement, les prévenir.

La chaudière n'étant jamais, pour ainsi dire, munie d'appareils indiquant le niveau de l'eau quand il est inférieur à la garniture du tube, le chauffeur ignore alors où se trouve ce niveau.

Que doit-il faire ? Prévenir le propriétaire ? Bien que cette situation ne provienne pas de sa négligence, il serait congédié immédiatement.

Dans la pratique, le chauffeur allume le feu comme à l'ordinaire, et, dès que la pression est suffisante, il fait fonctionner l'appareil alimentaire jusqu'à ce que l'eau soit remontée à son niveau normal.

Si l'eau s'était par trop abaissée, un chauffeur capable s'en rendrait compte assez rapidement, par la lenteur, bien plus grande qu'à l'ordinaire, de la mise en pression ; il se déciderait alors à mettre bas les

feux. Un mauvais chauffeur ne le remarquera pas, et la tôle recevra un coup de feu.

Ainsi, à propos de l'explosion d'une chaudière cylindrique verticale, chauffée par les flammes perdues d'un four à réchauffer, survenue le 5 novembre 1877, aux forges de Firminy, et qui a blessé trois ouvriers, le rapport officiel a constaté que « la chaudière s'était vidée pendant « la nuit précédente. On a cru le manque d'eau moins considérable et « on a alimenté : les parois rougies ont cédé facilement à une pression « ordinaire ».

Les chaudières à foyer intérieur sont très sujettes à pareil accident.

Une circonstance plus fâcheuse se présente quelquefois lorsqu'il s'agit d'une chaudière cylindrique ordinaire, ou mieux encore tubulaire, munie de bouilleurs réchauffeurs latéraux.

Ces réchauffeurs peuvent se vider, soit par suite de fuites, soit pour toute autre cause, et le corps de chaudière peut contenir de l'eau à niveau convenable. Ces bouilleurs ne possèdent généralement pas d'indicateurs de niveau, de sorte que le chauffeur ignore absolument les conditions dans lesquelles se trouve le générateur.

Après la mise en marche de la machine, dès que le niveau baisse dans la chaudière, le chauffeur met la pompe en activité ; il remarque bientôt que le niveau descend outre mesure ; il vérifie donc son appareil alimentaire, les clapets, etc., et s'assure que tout est en ordre ; cependant le niveau est descendu au-dessous de la bague du tube ; mais le chauffeur est certain que l'eau va reparaître, puisqu'il l'a vue et qu'il est sûr de la bonne marche de l'alimentation. Tout à coup l'explosion se produit, parce que cette alimentation s'est faite, non dans la chaudière, mais dans les réchauffeurs qui, étant vides, doivent d'abord se remplir avant de déverser, ne serait-ce qu'un peu d'eau dans la chaudière.

C'est à pareille cause qu'il faut attribuer l'explosion par manque d'eau survenue le 14 décembre 1884, dans la sucrerie de Poix (Somme). La chaudière était formée d'un corps cylindrique tubulaire, placé au-dessus du foyer, et de trois bouilleurs-réchauffeurs latéraux superposés.

Il n'y a pas eu de dégâts matériels.

Un semblable accident s'est produit le 10 juillet 1878, à Levallois-Perret (Seine), à une chaudière cylindrique munie d'un bouilleur-réchauffeur latéral. Le tuyau de communication au-dessus des deux corps avait un diamètre de seize millimètres seulement.

Il n'est pas juste de dire ici que le chauffeur, brûlé par la vapeur, a été victime de sa négligence.

Des précautions, souvent minutieuses, sur la conduite du feu, l'épaisseur du charbon sur la grille, l'intervalle entre les chargements, sont réclamés du chauffeur, dans les cas ordinaires et dans ceux d'une interruption momentanée du travail.

Le chargement du combustible n'est pas aussi simple qu'on pourrait le croire, et il ne suffit pas, pour la conduite du feu, de jeter sans méthode du charbon sur la grille.

« Si le feu était abandonné à lui-même, dit M. Haton de la Gou- « pillière, Inspecteur général des Mines, dans son *Cours de Machines* « la quantité d'air ne se trouverait presque jamais en rapport « convenable avec la phase que traverse, à chaque instant, la combus- « tion.

« Quand on vient de charger du combustible, la grille est encom- « brée, le charbon s'agglomère s'il est d'une nature collante, l'air filtre « difficilement ; et cependant c'est le moment où il en faudrait beau- « coup pour griller le flot de gaz combustible qui commence à distiller « avec production de fumée noire.

« Vers la fin de la combustion, au contraire, le coke se raréfie, les « intervalles sont redevenus libres, et l'air passe en grande abondance, « au moment où le carbone seul reste en ignition et où toute la partie « volatile a disparu ; ce qui devrait inversement motiver une diminu- « tion dans l'accès de l'air.

« Il est donc nécessaire que le savoir-faire du chauffeur remédie à « ces tendances par l'habile disposition de son feu... Il doit aussi « empêcher avec soin la formation de cratères, donnant passage à des « dards de chalumeau » qui ont une influence funeste sur la tôle des chaudières.

C'est à un « violent coup de feu, provenant d'une conduite défec- « tueuse du feu » que l'Ingénieur des mines attribue l'explosion d'une chaudière horizontale cylindrique avec six bouilleurs, qui s'est produite le 31 décembre 1884, à la filature de Senones (Vosges).

Le bouilleur de droite s'est fendu le long de la génératrice inférieure.

Le chauffeur est mort de ses blessures et deux ouvrières ont été plus ou moins grièvement atteintes.

Lorsqu'un chauffeur n'a que sa chaudière à conduire, qu'elle a une surface de chauffe et un volant calorifique suffisants, il peut satisfaire facilement aux exigences de l'Instruction ministérielle du 22 juillet 1843, aussi bien qu'à celles des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur; mais s'il conduit aussi la machine et qu'un dérangement subit réclame sa présence, et si, d'ailleurs, sa chaudière, un peu faible pour les besoins de l'usine, nécessite un chauffage soutenu et une pression voisine de celle du timbre, ce qui est fréquent, il lui est matériellement impossibie de suivre ces Instructions.

Un bon chauffeur se tirera, sans trop de peine, d'un mauvais cas de cette nature; avec un mauvais chauffeur, la chaudière est en danger.

Il faut bien l'avouer, beaucoup d'industriels ont des chaudières à vapeur trop faibles pour leurs besoins; cela tient à plusieurs causes:

D'abord, lors de l'installation de leurs appareils, ils ne se rendent pas suffisamment compte de la quantité de vapeur qui leur est nécessaire; la somme à dépenser varie naturellement avec la puissance des appareils et ils ont une tendance bien naturelle à diminuer ces premiers frais. C'est ce même motif qui les pousse à acquérir des appareils d'occasion.

Ensuite leurs besoins s'augmentent, et, lorsqu'une chaudière est suffisante dans le principe, elle devient souvent trop faible plus ou moins longtemps après son installation.

Il faut presque toujours des motifs bien sérieux pour obliger les usiniers à remplacer une chaudière par une autre plus puissante ou à en installer une nouvelle.

Enfin, il est rare que le travail de l'usine soit parfaitement régulier, et effectivement il ne l'est jamais quand on utilise la vapeur pour certains chauffages. La production est alors naturellement obligée de suivre les besoins; c'est spécialement pour ces usines que les chaudières doivent, suivant l'expression consacrée, marcher à coups de collier.

La question se complique encore lorsque la chaudière porte la machine, qu'il s'agisse d'appareils dits demi-fixes ou locomobiles.

Les constructeurs de ces appareils, pour ne pas dépasser les prix courants, ou même rester en dessous de ces prix, limitent actuellement au strict nécessaire la capacité productrice de vapeur correspondant à la force indiquée pour la machine.

Mais, pour que cette machine donne un résultat industriel convenable, ils doivent se tenir dans certaines limites de vitesse et de détente au delà desquelles les résultats du fonctionnement sont défectueux.

L'ensemble forme, la plupart du temps, un appareil bien convenable pour la force indiquée ; mais il est bien rare que les industriels se contentent de cette force ; non seulement par suite de l'augmentation non prévue du travail, mais encore parce qu'ils croient, de bonne foi, que la machine peut produire une énergie plus considérable. Ils se trompent eux-mêmes, et, lors de l'acquisition, ils achètent un appareil d'une puissance réellement inférieure à leurs besoins prévus.

Il y a plusieurs années, les constructeurs indiquaient, en effet, pour leurs machines, une force moindre que celle qu'elles pouvaient engendrer pratiquement; et ils la désignaient sous le nom de force nominale.

Il n'en est plus de même actuellement.

Pour faire développer à la machine la puissance qui leur est effectivement nécessaire, il suffit aux industriels d'en augmenter la vitesse, ou la pression de marche; ou encore de diminuer la détente; mais ces changements ne peuvent se faire sans une augmentation de production de vapeur.

Dans tous les cas que nous venons d'examiner, et ils sont malheureusement fréquents, la chaudière est FORCÉE, nous en montrons plus loin les fâcheuses conséquences; souvent aussi les soupapes *doivent être surchargées,* à moins que, de concert avec l'administration, l'industriel n'augmente le timbre de la chaudière, ce qui produit le même résultat de surcharge qu'aggrave encore la détérioration de la chaudière par l'épreuve à haute pression.

Doit-on rendre le chauffeur responsable d'un pareil état de choses, et peut-on le blâmer d'accepter une situation semblable, alors qu'il attend après son salaire pour nourrir sa famille ? Nous ne le croyons pas.

Dans le cours du travail, le chauffeur approche le charbon, le casse et décrasse la grille. Ce décrassage exige une certaine habileté et une grande promptitude, sans quoi la contraction, produite par l'air froid, fatigue la chaudière et peut même en déterminer la rupture.

C'est à cette cause qu'il faut attribuer l'explosion survenue, le 28 novembre 1870, à la sucrerie de Berlaimont (Nord), d'une chaudière à deux bouilleurs qui a brûlé le chauffeur et son aide.

« La grille, dit le rapport officiel, était à une distance un peu faible

« des bouilleurs, et le chauffeur avait l'habitude de trop charger de « combustible. Il en est résulté une détérioration progressive de la tôle « au-dessus du foyer sous l'action des feux intenses faits sous la chau- « dière.

« La rupture s'est produite au moment où le chauffeur venait d'ou- « vrir la porte du foyer pour attiser le feu. »

C'est le chauffeur qui est chargé de l'alimentation.

Le niveau de l'eau doit être toujours voisin de la ligne tracée près du tube de verre, il ne doit jamais descendre au-dessous de la garniture de ce tube; et, effectivement, cela n'arriverait jamais, si des circonstances indépendantes de la volonté du chauffeur ne venaient faciliter l'abaissement du niveau.

C'est quelquefois l'appareil alimentaire lui-même qui n'agit pas; la garniture de la pompe qui s'est défaite ; le clapet qui ne ferme plus, soit par suite de l'interposition de matières sur son siège, soit à cause de la température trop élevée de l'eau d'alimentation. Ce sont, d'autres fois, les tuyaux de circulation de l'eau qui sont obstrués ou bouchés, soit ceux qui servent à l'alimentation, soit surtout ceux d'arrivée de l'eau (1).

C'est encore le clapet de retenue qui se ferme mal (2), de sorte que l'eau d'une chaudière se déverse dans une autre ou même s'échappe dans le réservoir en passant par la garniture de la pompe. Ce sont enfin les fuites qui se déclarent au générateur et qui peuvent être assez fortes pour permettre à la chaudière de se vider pendant la marche, en provoquant une explosion semblable à celle d'une chaudière cylindrique horizontale survenue aux mines de Comberigol (Loire), le 6 septembre 1885.

C'est même quelquefois le primage.

Lorsque la chaudière doit fournir de la vapeur calorifère pour le chauffage de certains appareils, la quantité de vapeur employée est très considérable au moment du premier chauffage; si l'on ne prend aucune précaution, il peut y avoir, à ce moment, un primage ou entraînement d'eau notable.

(1) M. Cornut (1878 et 1889) a exposé de très intéressants échantillons de ces tuyaux obstrués en grande partie ou même complètement par les incrustations.

(2) A la suite d'une explosion de chaudière dans la fabrique d'essieux de MM. Bail-Pozzy et Cie, à Persan (Seine-et-Oise), qui a eu lieu par suite de manque d'eau, il a été reconnu que ce manque d'eau venait du non-fonctionnement du clapet de retenue qui était, du reste, d'un type défectueux, dit le rapport officiel.

L'explosion survenue, le 29 octobre 1883, dans une papeterie à Chahaignes (Sarthe) a eu lieu pour cette cause; elle s'est produite par suite de manque d'eau, « une heure après l'ouverture du robinet de communication avec les lessiveurs. »

Le chauffeur ne peut souvent s'apercevoir d'un fait de cette nature que par l'abaissement anormal du niveau de l'eau. Mais où est le défaut? il en est réduit aux conjectures. Un chauffeur intelligent et expérimenté trouvera le dérangement plus rapidement qu'un autre et remettra l'appareil en ordre. Un ouvrier médiocre sera d'autant plus embarrassé que, pendant ses recherches, le niveau de l'eau continue à descendre, atteint la bague du tube et disparaît; il n'a donc plus aucun moyen de contrôle, et s'il se trompe sur la cause du mal, s'il l'attribue au clapet d'alimentation alors qu'il faudrait le trouver dans le clapet de retenue, dans la garniture de la pompe, ou dans les tuyaux, ou enfin dans les fuites que souvent il n'aperçoit pas, il croit, à tort, introduire de l'eau dans la chaudière; un accident par manque d'eau est alors inévitable.

Une explosion de chaudière cylindrique tubulaire, survenue le 5 octobre 1880, à Talence (Gironde), a été produite par un manque d'eau de cette nature.

Le chauffeur a bien reconnu que le niveau baissait, mais il n'a trouvé la cause de cet abaissement de l'eau que longtemps après; le tuyau de communication de la pompe alimentaire au réservoir était obstrué.

Dès qu'il eut débouché ce tuyau, le chauffeur alimenta la chaudière, mais les parois rougies se crevassèrent sous l'action de l'eau froide et l'explosion eut lieu sans qu'aucun dégât considérable ait été signalé.

Lors d'une explosion qui s'est produite le 13 juillet 1873, à une chaudière cylindrique à deux bouilleurs, dans la tuilerie de Frémonville (Meurthe-et-Moselle), due au défaut d'alimentation, « le chauffeur « s'est aperçu trop tard que l'eau manquait; en ce moment la pompe « était dérangée; au rétablissement de l'alimentation, la chaudière « s'est ouverte. »

Dans une circonstance semblable, il est sans doute prudent que le chauffeur arrête la chaudière, dans la crainte d'un accident; mais nous avons déjà montré que, pratiquement, il ne le peut guère, s'il tient à sa place.

Quoi qu'il en soit, il peut y avoir, de la part du chauffeur, incapacité, imprudence même, mais il n'y a ni négligence ni incurie.

Examinons l'action du chauffeur sur les appareils de sûreté.

Les appareils indicateurs du niveau de l'eau sont doubles, un tube en verre d'abord et ordinairement un flotteur.

Les flotteurs actuellement en usage sont des appareils donnant des indications très apparentes et fonctionnant généralement bien; et c'est précisément par suite des avantages que ces appareils présentent que le chauffeur se guide sur eux dans la plupart des cas.

Mais, malheureusement, ils s'arrètent quelquefois subitement, pour des causes non apparentes et que le chauffeur ne peut pas prévoir.

Persuadé, dans ce cas, que le niveau est à une hauteur suffisante, il continue à chauffer et, après un temps plus ou moins long, il se produit quelquefois une explosion, presque toujours une détérioration à la chaudière.

C'est le mouvement ascensionnel de l'eau qui actionne les flotteurs en agissant, tantôt sur une lentille creuse plus légère que l'eau, tantôt sur une pierre plus dense; les mouvements sont transmis à l'index par une tige métallique, directement dans le premier cas, à l'aide d'un contrepoids dans le second.

Toutes les circonstances qui peuvent influer sur ces diverses parties sont de nature à causer l'arrêt du flotteur ou à donner des indications inexactes.

Suivant le système employé, l'index peut occasionner des lectures erronées : quand l'appareil est mal établi; lorsque l'élasticité du tube métallique a varié; quand la force de l'aimant a diminué, etc.

D'autre part, la tige métallique peut s'entartrer, s'arrêter par le frottement ou même se casser.

Dans le VII[e] congrès des Ingénieurs en chef des associations de propriétaires d'appareils à vapeur, M. Cornut a cité deux explosions, ayant occasionné la mort de trois ouvriers et blessé très grièvement un quatrième, qui se sont produites à des générateurs semi-tubulaires par suite de l'arrêt du flotteur causé par l'entartrage de la tige.

Pour la première, survenue le 3 mars 1875, le tube en verre ne fonctionnait pas ; le niveau de l'eau ne pouvait donc être indiqué que par le flotteur magnétique.

« Le 4 mars, lendemain de l'accident, le générateur était complè-
« tement vide et pourtant l'indicateur magnétique marquait + 6 (fort).

« Cet appareil fut démonté et on trouva le premier tronçon rempli
« de marne, sur 235 millimètres de hauteur; dans ces calcaires on dis-

« tinguait nettement le logement du buttoir destiné à actionner la « pédale du sifflet d'alarme de manque d'eau.

« La tige ayant été remise en place, le buttoir reposant sur la « marne, l'aiguille a repris sa position première et s'est maintenue à « + 6 (fort).

« Cette tige se mouvait assez facilement dans ses guidages, elle pou- « vait donc monter au-dessus de + 6, mais ne pouvait plus descendre « en dessous de cette limite.

« Le mécanisme du sifflet d'alarme était rempli de marne, ce qui « empêchait tout fonctionnement de cet appareil.

« Les dépôts calcaires enfin étaient venus jusque dans le deuxième « compartiment de l'indicateur magnétique. »

Pour la seconde, survenue le 10 janvier 1882, l'indicateur magnétique marquait + 5, bien que la chaudière fût vide d'eau. « Cet appa- « reil était donc faussé et paralysé ; il fut démonté, et on s'aperçut que « tout le compartiment inférieur était rempli de marne.

« Dans ces conditions, l'appareil était incapable de rendre le moindre « service ; à grand peine pouvait-on faire soulever ou abaisser la tige de « quelques centimètres en la poussant avec force de manière à faire « pénétrer dans la marne le buttoir qui actionne les pédales des deux « sifflets. »

Lors d'une explosion qui s'est produite à Paris le 20 août 1879, causée évidemment par manque d'eau, nous avons reconnu que le flotteur, d'un excellent système d'ailleurs, donnait des indications inexactes, par suite de la déformation de la tige. Cet appareil fonctionnait librement depuis le haut de sa course jusqu'à la partie moyenne, c'est-à-dire qu'il pouvait indiquer le trop d'eau et la hauteur normale, mais il s'arrêtait brusquement à cette dernière position ; la tige coudée venait frotter contre le piétement de l'appareil. La position de ce coude paraît indiquer que la courbure de la tige a été produite par le mouvement de l'eau agissant sur le flotteur.

Lors d'une explosion survenue à la raffinerie Lebaudy, à Paris, le 25 octobre 1886, il a été constaté que l'index du flotteur magnétique Lethuillier-Pinel « se tenait sur la ligne 7 de sa graduation, ce qui « montrait que le flotteur ne s'abaissait pas au-dessous de la position « correspondant à cette graduation, malgré le manque d'eau total qui « existait à ce moment dans la chaudière ».

M. Périssé, Ingénieur, désigné comme expert judiciaire au sujet de cette explosion, affirme que la tige a été faussée par l'écoulement brusque et rapide de l'eau. Nous le croyons sans peine, mais des cir-

constances analogues, produisant des effets semblables sinon aussi violents, peuvent se présenter dans la marche ordinaire de la chaudière, comme l'exemple précédent paraît du reste l'indiquer.

Il n'est pas rare que le flotteur se détache de la tige sur laquelle il est accroché ou fixé, ainsi qu'on l'a constaté lors d'une explosion survenue aux Mines de Liévin, le 12 octobre 1881.

Quand le flotteur est constitué par une pierre, cette pierre peut se déliter, se ronger ou se casser. Lors de l'explosion d'un générateur cylindrique à deux bouilleurs survenue le 1er décembre 1878, à la sucrerie de Coucy-le-Château, par suite de manque d'eau, « la pierre du « flotteur d'un des indicateurs s'était désagrégée, dit le rapport offi- « ciel, et, devenue trop légère, elle était maintenue toujours au plus « haut, par l'action du contrepoids. »

Si le flotteur est formé d'une lentille creuse, cette lentille peut se fendre ; l'eau pénétrant dans l'intérieur annule son action.

Lorsqu'une telle lentille est soumise à la pression d'épreuve, elle se déforme ou même se brise. Incidemment, nous pouvons dire ici que, lorsque cet accident survient, la tension dans la chaudière atteignant un degré élevé, il se produit une vibration de toute la masse, qui montre bien l'influence qu'un choc peut avoir sur les explosions.

On ne peut, et on ne doit avoir aucune confiance dans les flotteurs à presse étoupes ; nous comprenons difficilement qu'un industriel puisse utiliser un organe de ce genre qui fonctionne mal. Leur arrêt a causé de nombreuses explosions, et, suivant nous, ils doivent être radicalement supprimés.

Enfin, certaines circonstances qu'on ne saurait prévoir peuvent encore produire l'arrêt du flotteur ; nous pouvons en citer une bien extraordinaire qui a causé l'explosion survenue le 12 août 1879, dans un tissage de Rouen.

La chaudière cylindrique à deux bouilleurs était traversée par deux tubes de retour de flammes.

Pour éviter l'arrivée des boues aux bouilleurs, on avait muni le corps cylindrique d'ajutages simplement emboîtés dans les cuissards ; une de ces pièces de tôle légère s'était détachée, elle suivit le mouvement de l'eau, erra dans la chaudière, et vint se placer « sous le flotteur de « l'indicateur qu'elle a immobilisé, et qui était *seul consulté*, quoique « la chaudière fût pourvue d'un tube indicateur en verre ».

Les chauffeurs n'ont guère d'action sur les flotteurs perfectionnés, leur arrêt ne peut pas leur être imputé. Il serait d'ailleurs injuste de les rendre responsables des vices des systèmes défectueux.

Doit-on dire, comme on l'a souvent affirmé, que le tube en verre est un appareil sur lequel on peut sérieusement compter ? Nous estimons au contraire que ses indications sont toujours plus ou moins erronées !

Il est un fait reconnu, c'est que deux tubes, montés d'une façon différente sur une même chaudière, n'ont pas des niveaux concordants.

Les explications, données jusqu'ici, de cette différence, ne sont pas parfaitement claires ; mais il est certain que la condensation de la vapeur dans les tuyaux, les points de la chaudière où ils aboutissent, les émulsions, les ébullitions tumultueuses, l'obstruction plus ou moins grande de ces tuyaux ou des robinets par les matières étrangères, ont une influence sérieuse sur leurs indications.

Toutes ces causes d'erreur sont graves ; la différence du niveau lu dans le tube en verre, avec le niveau vrai, existant dans la chaudière, peut être considérable ; et il est aussi regrettable qu'extraordinaire que l'Administration n'ait pas fait à ce sujet des expériences précises que semblerait nécessiter l'emploi obligatoire du tube qu'elle impose.

La communication du tube indicateur avec les parties supérieures et inférieures du générateur se fait, le plus souvent, par le moyen de tuyaux en cuivre de faibles diamètres terminés par des robinets. Il importe, du reste, pour faciliter l'arrêt de l'eau et de la vapeur, en cas de bris de tube, que ces robinets soient éloignés de la monture et, conséquemment, que les tuyaux aient une longueur importante.

Or, si l'on ferme le robinet inférieur, l'eau, provenant de la condensation de la vapeur, afflue dans le tube et le remplit. De même, quand on ferme le robinet supérieur, la vapeur se condense immédiatement, l'eau s'élève dans le tube et le remplit également.

En fermant partiellement l'un de ces robinets, le niveau varie suivant l'importance de la fermeture, le diamètre et la longueur des tuyaux, leur inclinaison et le nombre de leurs coudes.

Spécialement, quand on agit sur le robinet d'amenée de vapeur, chaque phase de la fermeture crée un niveau spécial.

Ce niveau factice, essentiellement erroné, a cependant toutes les apparences du niveau vrai : l'oscillation de l'eau est même particulièrement remarquable. Cette cause d'erreur est, par conséquent, d'une gravité exceptionnelle ; car, non seulement un oubli ou une inadvertance du chauffeur peuvent causer la fermeture partielle de ce robinet qu'il doit nécessairement manœuvrer soir et matin, mais encore, il suffit que le tuyau soit d'un diamètre trop faible, ou qu'il soit partiellement obstrué, pour que les phénomènes que nous signalons ici se produisent en pleine marche.

D'autre part, le tuyau d'amenée d'eau est plus ou moins chargé de bulles de vapeur et de matières émulsionnantes qui ont une action importante dans ces tubes et tuyaux dont le diamètre est ***forcément restreint***, sans quoi leur rupture fréquente équivaudrait à une explosion. On voit même souvent l'eau sectionnée par des bulles de vapeur et plus ou moins violemment entraînée. Les chauffeurs de profession connaissent bien cette particularité et disent que la chaudière fait siphon.

On sait enfin que l'abaissement de pression de la réserve de vapeur provoque le dégagement ou la production de celle qui existe dans l'eau à l'état de suspension ou à l'état latent. Mais l'équilibre de pression n'est pas immédiat, il est fonction de divers facteurs, notamment de la rapidité de dégagement de la vapeur.

Cette action est très sensible sur les indications du niveau de l'eau dans le tube ; elle est si remarquable que, dans certains cas, nous avons pu compter le nombre de coups de piston d'une machine éloignée du générateur, par celui des oscillations de l'eau dans le tube en verre de la chaudière.

Elle s'accroît évidemment avec la quantité de vapeur dégagée et devient maxima, lorsque le niveau de l'eau descend dans la chaudière et que l'ébullition est tumultueuse.

« La hauteur réelle de l'eau par le fait d'ébullition tumultueuse, dit « M. Hirsch, dans son *Cours de Machines à vapeur*, peut tromper le « chauffeur. »

M. Chesneau, Ingénieur des mines, prétend même que la vapeur, en se condensant par refroidissement dans le tube en verre, peut arriver à former une colonne d'eau tenue en équilibre par la pression de la vapeur. Cette opinion, qui ne peut se soutenir qu'en s'appuyant sur l'insuffisance ou l'obstruction partielle du tuyau d'amenée de vapeur, comme nous venons de l'expliquer, émise dans un rapport officiel, à la suite d'une explosion et acceptée par la Commission centrale des Machines à vapeur, aussi bien que les observations précédentes, sont de nature à faire considérer comme illusoires les avantages que l'on a jusqu'ici attribués au tube de niveau (1).

(1) Voici l'extrait du rapport de M. Chesneau, dont il est ici question, relatif à une explosion survenue, le 7 octobre 1885, à Solre-le-Château :

« Le chauffeur n'a évidemment pas suivi attentivement la marche de l'eau dans le tube « indicateur en verre, mais il a pu croire, jusqu'au dernier moment, que la chaudière « contenait de l'eau, parce que la vapeur, qui se condensait par refroidissement dans le

Quoi qu'il en soit, nous avons eu à instruire plusieurs explosions produites évidemment par manque d'eau total, à la suite desquelles il a été constaté que le tube contenait de l'eau au moment de l'accident.

Il peut donc induire en erreur.

Lors de l'explosion d'une chaudière cylindrique à deux bouilleurs survenue le 21 février 1878, à Gueures (Seine-Inférieure), par suite de manque d'eau, il a été constaté que :

« Le tube en verre était monté de manière à donner des indications « fausses ; pendant que la chaudière se vidait entièrement, il restait « dans le tube une petite quantité d'eau faisant croire à un niveau » normal. »

A la suite de l'explosion d'une chaudière cylindrique tubulaire à retour de flammes, survenue à Paris, le 15 septembre 1881, par suite de manque d'eau, explosion qui a brûlé mortellement le chauffeur, il a été reconnu que le tube indicateur contenait de l'eau : l'orifice inférieur était en partie obstrué par de la filasse.

Lors de l'explosion d'une chaudière cylindrique à trois bouilleurs qui a eu lieu le 17 avril 1884, dans un tissage de Flers, le manque d'eau a été occasionné, dit le rapport officiel, « par suite d'erreur d'ob-« servation causée par une obstruction partielle de la communication « inférieure du tube de niveau. »

Ce tube a tellement induit le chauffeur en erreur que, même lorsqu'il s'est aperçu de l'obstruction du tuyau, il n'a pas supposé que la chaudière manquait d'eau, car, au lieu d'alimenter, ce qu'il n'aurait pas manqué de faire, il était précisément en train de déboucher le tuyau au moment de l'explosion qui l'a tué.

Au sujet de l'explosion d'une chaudière multibulaire survenue à Paris, le 1er juin 1888, « le chef mécanicien et les chauffeurs pré-« tendent.... qu'ils ne soupçonnaient pas le danger, parce qu'ils conti-« nuaient à voir de l'eau dans le tube indicateur de gauche ; ces « ouvriers assurent même qu'ils ont constaté la présence de l'eau en « purgeant ce tube et en ouvrant le robinet de jauge inférieur de la « clarinette : le niveau, disent-ils, se relevait après chaque purge, « lorsqu'on refermait le robinet, au-dessus du niveau permanent. »

« tube en verre, était arrivée à former une colonne d'eau tenue en équilibre par la pres-« sion de la vapeur. Quelques minutes avant l'accident, le directeur était passé devant la « chaudière et avait constaté que l'eau apparaissait dans le tube et oscillait avec rapi-« dité ; on a d'ailleurs retrouvé de l'eau dans le tube en cuivre du niveau d'eau brusque-« ment replié pendant l'explosion. »

D'après M. Walckenaer, Ingénieur des mines, ces particularités peuvent s'expliquer par une disposition vicieuse des indicateurs du niveau.

Le tuyau d'amenée d'eau pénétrait dans le corps supérieur, et s'y prolongeait verticalement de manière à atteindre une hauteur supérieure à celle de la bague inférieure du tube de niveau. Il se formait ainsi une sorte d'*U* qui restait plein d'eau quand la chaudière se vidait. Nous devons ajouter que cette disposition pouvait même retenir l'eau provenant de la condensation de la vapeur dans les tuyaux, et par conséquent fournir une certaine quantité d'eau, lors des purges successives du tube, alors que la chaudière n'en contenait pas.

D'ailleurs, le tube en verre se ternit assez rapidement, et ses indications deviennent peu apparentes. Les parties avoisinant la ligne du niveau sont même souvent tapissées de matières étrangères qui simulent le niveau de l'eau ; on peut s'y tromper.

On atténue en partie cet inconvénient par l'emploi d'appareils à cylindres récepteurs dits « clarinettes », qui ont aussi le précieux avantage de donner une grande rigidité aux garnitures des tubes.

On a perfectionné ces « clarinettes », en les munissant d'une cloison séparatrice ou même en les doublant, ce qui nous paraît préférable.

Enfin, l'adjonction d'une bande longitudinale, de couleur généralement rouge, facilite la vue du mouvement de l'eau ; cette bande peut être établie dans le corps du tube lui-même, on lui donne alors le nom de tube photophore.

Sans doute, un homme expérimenté ne se trompera pas sur la valeur de la plupart de ces indications erronées ; mais d'abord il faut, par suite des défauts des appareils, une attention trop soutenue qu'il est difficile d'exiger pratiquement ; et, ensuite, beaucoup d'ouvriers manquent de cette expérience et de ce savoir qui font le parfait chauffeur. Enfin, l'une au moins de ces causes induira toujours le chauffeur en erreur, quelle que soit son expérience.

Trop souvent le tube en verre se casse, en blessant le chauffeur, et l'eau bouillante ainsi que la vapeur qui s'en dégagent le brûlent. Cet inconvénient est très grave ; nous avons nous-même été atteint par les débris d'un tube qui s'est brisé, et plusieurs industriels n'ont pas hésité à nous déclarer qu'à la suite d'accidents sérieux produits dans leurs usines, par la rupture des tubes en verre, ils refusaient, catégoriquement, d'en faire usage.

Pour éviter les accidents qui résultent de la projection de l'eau

chaude et de la vapeur produite par le bris du tube indicateur, on a imaginé divers organes obturateurs se fermant automatiquement lorsque survient cet accident, et placés dans les conduites d'eau et de vapeur.

Ces organes présentent les mêmes inconvénients que les clapets automatiques d'arrêt que nous étudions plus loin : 1° Si leur fonctionnement est trop sensible, ils agissent dès qu'on purge le tube ; ils sont ainsi un obstacle à cette purge cependant si nécessaire ; et, 2° lorsque ce fonctionnement est moins facile, il est rapidement diminué par la présence des matières incrustantes qui collent ces obturateurs sur leur siège ; alors ils ne fonctionnent pas quand leur action est nécessaire. Dans tous les cas, l'adjonction d'un organe intérieur est une cause sérieuse d'agglomération de matières qui bouchent les conduits du tube et suppriment ses indications.

On a essayé de remplacer le tube en verre, par des glaces épaisses enchâssées dans des ouvertures rectangulaires pratiquées dans un corps principal en fonte. Les inconvénients pratiques de ces appareils paraissent être un obstacle à leur emploi.

On exige qu'un tube cassé soit immédiatement remplacé par le chauffeur ; mais, pour être solide, un tube demande à être posé avec beaucoup de soins, et cette opération est d'une réelle difficulté, lorsque la chaudière est sous pression : les robinets sont chauds, ils sont rarement étanches, l'eau qui s'en échappe brûle les doigts du chauffeur, qui ne peut, du reste, y consacrer qu'un temps très court, sans laisser tomber le feu qu'il doit entretenir.

Au surplus, soit pour ces raisons, soit pour toute autre, il arrive fréquemment qu'un tube en verre, nouvellement placé, se casse de suite ; un second, un troisième, un plus grand nombre même ont pareil sort. Le chauffeur se lasse, ou n'ayant pas suffisamment de tubes de rechange sous la main, il se décide à consulter uniquement le flotteur, et il s'y habitue.

Enfin, le tube en verre est, la plupart du temps, placé au-dessus de la tête du chauffeur ; des garnitures ou des robinets tombent constamment des gouttes d'eau bouillante qui le brûlent.

Ces accidents n'encouragent pas les chauffeurs à entretenir cet appareil dont l'utilité est nulle, suivant beaucoup d'entre eux.

A notre avis, les indications du tube en verre ne peuvent avoir de valeur que si l'on emploie simultanément deux de ces appareils qui se contrôlent l'un par l'autre.

Les robinets de jauge, qu'on emploie quelquefois, sont les organes les plus simples, mais ils ne constituent pas un véritable appareil indicateur du niveau et ne permettent qu'un contrôle approximatif.

Ils sont sujets à plusieurs inconvénients : ils nécessitent d'abord une manœuvre spéciale chaque fois qu'on veut s'en servir. Quand ils sont à la portée de la main du chauffeur, comme dans les chaudières de très faibles dimensions, il peut les consulter aisément, bien que leurs indications soient difficiles à interpréter ; mais, lorsque la hauteur du plan d'eau a une certaine importance, ce qui est le cas général, la manœuvre de ces robinets est très incommode.

Ils s'obstruent ensuite assez fréquemment par suite de leur position qui les met continuellement en contact du plan d'eau où surnagent les matières impures.

Leur dégorgement, qui n'est pas toujours facile, provoque des jaillissements d'eau qui brule l'opérateur.

Il serait nécessaire que le chauffeur fît jouer très souvent ces robinets, ce qu'il est cependant bien difficile d'exiger de lui, puisqu'il existe des appareils automatiques.

Suivant nous, les robinets de jauge devraient servir, de préférence, à reconnaître la position approximative du plan d'eau, lorsqu'il s'est abaissé accidentellement au-dessous de la garniture du tube, et nous pensons qu'il serait avantageux que la chaudière en portât plusieurs à cet effet.

Les sifflets d'alarme procèdent d'une idée juste, mais leur usage est très peu pratique.

« Le flotteur d'alarme, disent les Instructions ministérielles de 1843, « ne doit fonctionner que rarement, puisqu'il est destiné à avertir « d'une circonstance qui n'a pu arriver que par la négligence du « chauffeur. » Cette phrase, injuste et maladroite, qui a été affichée jadis par ordre administratif, dans toutes les chambres de chauffe, a été la condamnation de ces appareils. Il faut reconnaître d'ailleurs que le fonctionnement de ces sifflets est plus incertain encore que celui des flotteurs, et que leur emploi crée une fausse sécurité.

Leur arrêt a causé, à notre connaissance, plusieurs accidents, et leur emploi nous paraît plus dangereux qu'utile.

Nous pouvons citer, à cet égard, un exemple frappant.

Nous avions installé une chaudière à vapeur dans une importante usine de Paris, appartenant à un industriel aussi intelligent que sérieux, qui ne ménage ni son temps ni son argent pour la bonne marche de ses appareils.

Après cette installation, l'usine comportait deux chaudières et une machine à vapeur. Le personnel chargé de l'entretien de ces appareils se composait de : un chef mécanicien des plus capables, un mécanicien chargé plus spécialement de la machine et de l'alimentation, et un chauffeur.

Nous avions placé, comme appareils indicateurs du niveau de l'eau, deux tubes de verre. L'industriel, sur la demande du chef mécanicien, nous pria de faire installer, en outre, un sifflet d'alarme. Cette demande était d'autant plus justifiée que la capacité de la chaudière étant faible eu égard à la surface de chauffe, le niveau de l'eau descendait rapidement. Cependant nous lui fîmes part de nos appréhensions sur le fonctionnement de cet appareil automatique, lui donnant le conseil de ne pas s'en servir ; mais, sur les instances de son personnel, il persista dans sa résolution.

Nous chargeâmes de ce soin le constructeur de Paris le plus en renom, en lui recommandant de choisir le meilleur appareil de sa fabrication et de le faire poser par son ouvrier le plus habile, le coût n'étant ici qu'une question accessoire.

Cet appareil, une fois installé, n'eut jamais l'occasion de fonctionner pendant la journée, car l'eau ne descendit pas suffisamment pour le permettre. Cependant son fonctionnement était assuré, car on l'entendit plusieurs fois pendant la nuit, ce qui nécessita, à plusieurs reprises, la visite nocturne du chef mécanicien.

Après un certain temps de marche, arriva l'époque du nettoyage complet de la première chaudière, nettoyage compliqué et délicat par suite des collecteurs de matières incrustantes qu'elle contient et dont le démontage nécessite, à un moment donné, la présence à l'intérieur de la chaudière du mécanicien et de son chef. Le chauffeur se trouvait ainsi chargé seul, momentanément, de la conduite de la machine et de la nouvelle chaudière, très poussée alors, puisqu'elle devait, seule, fournir la vapeur nécesssaire aux besoins de l'usine.

Le niveau de l'eau baissant, le chauffeur ouvrit le robinet d'alimentation de la pompe ; mais cette manœuvre n'était pas suffisante ; l'ouverture d'un second robinet placé à la suite du réchauffeur d'eau d'alimentation était nécessaire, le chauffeur l'ignorait. La pompe fonctionnait donc sans donner d'eau à la chaudière.

Pendant cette manœuvre, le niveau s'était abaissé en dessous de la garniture du tube ; le chauffeur ne s'en préoccupait pas trop, le sifflet devait l'avertir.

Cependant l'eau ne paraissait pas ; mais cette circonstance pouvait pro-

venir, pensait le chauffeur, de la vaporisation considérable que nécessitait la situation ; l'important était de produire de la vapeur, la machine commençant à se ralentir ; il poussa donc son feu avec énergie.

Mais la machine se ralentissant de plus en plus, le directeur de l'usine se rendit à la chaudière pour examiner la situation ; par une circonstance extraordinaire, nous arrivions nous-même à ce moment précis, et nous reconnûmes immédiatement le manque d'eau total.

Tous les tubes étaient portés au rouge.

Le sifflet n'avait pas fonctionné !!!

Nous pouvons ajouter qu'il est difficile de se rendre compte du fonctionnement normal d'un sifflet : s'il est actionné par le levier du flotteur ordinaire, il s'arrête avec lui ; si un flotteur spécial lui est affecté, ou il est inaccessible, et on ne peut en vérifier la bonne marche, ou il est abordable par l'intermédiaire d'un contre poids; dans ce cas, lorsqu'on soulève ce contre poids, le sifflet se fait toujours entendre, même lorsqu'il ne serait pas en état de fonctionner par l'abaissement seul du niveau de l'eau.

Ainsi, tous les appareils indicateurs du niveau de l'eau actuellement en usage présentent certains avantages et de graves inconvénients ; d'ailleurs, si l'on considère que, dans la pratique, le chauffeur a inévitablement une plus grande confiance en l'un d'eux qu'il consulte et entretient de préférence, on en conclura que, si cet appareil s'arrête ou donne des indications erronées, un accident est à craindre. Il s'en suit que l'emploi simultané de deux indicateurs de types différents, loin d'être une cause de sécurité, est au contraire une source de dangers.

Nous croyons à la nécessité de deux appareils indicateurs de niveau, mais nous sommes convaincu que la sécurité serait beaucoup plus assurée par l'emploi de deux appareils de *même système* se contrôlant sûrement l'un par l'autre.

Quoi qu'il en soit, et en toute sincérité, il faut avouer que tous les appareils indicateurs peuvent induire le chauffeur en erreur. Nous avons la certitude que le chauffeur ne laisse jamais sa chaudière manquer d'eau par négligence proprement dite, il est trop exposé pour cela, et nous estimons que, dans les rapports officiels, on a trop abusé de ce cliché.

Au surplus, les explosions par manque d'eau viennent aussi de causes absolument indépendantes de l'action du chauffeur; nous verrons, en les examinant, que des dispositions défectueuses du générateur pro-

duisent de véritables manques d'eau, et que des tubes de vaporisation notamment peuvent s'écraser et s'ouvrir avec tous les caractères du manque d'eau, sans qu'il soit nécessaire de supposer que le niveau ait baissé.

Les soupapes de sûreté sont de très bons appareils qui nécessitent fort peu d'entretien, quand elles sont bien établies; toutefois, si on ne les touche jamais, elles se collent inévitablement sur leur siège et l'adhérence peut être extrêmement considérable, au point de ne plus laisser échapper la vapeur à une pression très élevée.

Il est donc nécessaire que, de temps à autre, le chauffeur soulève très légèrement le levier ; la vapeur, en s'échappant, chasse les matières adhérentes.

Cependant, cette simple manœuvre produit parfois un accident : le clapet retombe mal sur son siège, ou quelque matière, un simple fétu, se place entre le clapet et ce siège, et la soupape fuit. On arrête quelquefois la fuite en tournant légèrement le clapet, mais souvent aussi cette opération l'augmente.

C'est une des raisons qui engagent le chauffeur à surcharger les soupapes de sûreté.

Nous allons en examiner d'autres.

On considère bien à tort, ainsi que nous le montrerons dans la suite, que le timbre de la chaudière est la limite extrême de la pression de sécurité (1). Cependant, dans cet esprit, on règle les soupapes de manière à laisser écouler la vapeur dès que la pression effective atteint cette limite.

Mais on prend pour base des calculs le diamètre intérieur, de sorte qu'elles se soulèvent sous une pression moindre. Cette avance dans leur action est d'autant plus apparente que, le plus souvent, le manomètre retarde (2).

(1) Il peut être intéressant de lire de suite au chapitre *Excès de pression* nos observations qui accompagnent l'explosion de la chaudière du bateau le *Tape-dur*, dont le timbre a été porté de 7 à 9 kilogrammes après six ans de marche sans consolidations spéciales.

Cette explosion, qui a fait six victimes, a eu lieu quelques mois après l'épreuve officielle à la suite de laquelle le timbre, ainsi surélevé, a été accepté et poinçonné par l'administration.

(2) Cette avance dans l'action des soupapes a été constatée depuis longtemps. Dès 1817, M. Jullien la signalait en ces termes dans son *Traité de Machines à vapeur* :

« D'après la nouvelle ordonnance, tous les poids et leviers, chargeant les soupapes de

Trompé par les indications de cet instrument, le chauffeur surcharge les soupapes.

C'est assurément fort imprudent, mais toutes les apparences sont pour lui, car, d'une part, presque toujours les soupapes se soulèvent réellement sous une pression moindre que celle pour laquelle elles ont été calculées, et, d'autre part, le chauffeur n'ignore pas, on le lui a dit et répété souvent, què, lors de l'épreuve d'une chaudière, on élève la pression au double de celle ordinaire de marche. Il croit, de bonne foi, que la chaudière peut supporter des pressions plus élevées et qu'une faible surcharge ne peut avoir aucun inconvénient.

Cette observation, que l'on nous a faite des centaines de fois, est une des conséquences pratiques de la surcharge trop forte de l'épreuve officielle. C'est aux chauffeurs plus spécialement qu'il faut dire et répéter que, comme nous le montrerons dans la suite, cette surcharge d'épreuve est mauvaise et cause à la chaudière des avaries telles qu'elle peut faire explosion, quelques jours après, sous une pression même inférieure à celle du timbre. Quand ils en seront bien convaincus, les chauffeurs ne surchargeront plus les soupapes de sûreté.

En attendant, nous croyons qu'il est utile de tenir les poids un peu forts, et de ne laisser souffler les soupapes qu'à une pression légèrement plus élevée que celle du timbre, pour qu'il y ait concordance entre la pression indiquée par ces appareils, et celle du manomètre. « Un certain excès de pression, pourvu qu'il soit contenu dans de « justes limites, chose toujours facile, présente peu d'inconvénients, » dit M. Couche, Inspecteur général des Mines.

Nous avons constaté quelquefois que les soupapes étaient calées, par le fait ou par l'ordre du propriétaire, ou de l'entrepreneur, quand la chaudière était trop faible pour le travail qu'on exigeait d'elle; mais nous n'avons jamais eu l'occasion de voir ce calage provenir du fait du chauffeur lui-même, ce que nous n'aurions du reste

---

« sûreté, doivent être vérifiés et poinçonnés par les agents de l'administration. Eh bien, « il est résulté de ce fait un inconvénient grave, qui ne peut être que momentané, mais « sur lequel nous appelons néanmoins la sérieuse attention de Messieurs les mécaniciens, « chaudronniers et propriétaires de machines, savoir :

« *La presque totalité des soupapes, dont les poids et surfaces annulaires de « contact ont été régularisés, lève sous une pression d'environ une demi-atmos- « phère au-dessous de celle pour laquelle elles sont chargées.*

« Il résulte de là, que, pour avoir leur pression, les propriétaires de machines « surchargent leurs soupapes, souvent de poids très considérables, et sont peut-être plus « exposés aux chances d'explosion qu'auparavant. »

jamais cru ; car nous estimons qu'il constitue non une imprudence, une témérité, une folie, comme on l'a toujours dit, mais une bêtise; créant un danger immédiat et certain sans nulle compensation, le chauffeur n'ayant aucun intérêt à le faire.

Il est certain que, souvent, les chauffeurs ont été accusés, à tort, d'avoir calé les soupapes.

A l'occasion de l'explosion d'une chaudière de locomotive, survenue à Moulins, le 10 novembre 1862, la Compagnie des chemins de fer de Lyon a imputé cet accident à l'excès de pression et a accusé le mécanicien d'avoir calé les soupapes de sûreté.

Nous devons dire, à l'honneur de M. Jutier, Ingénieur des Mines, qui a instruit cette affaire, qu'il a déclaré ne pas partager cette opinion et estimer que cette explosion est due à la rupture préalable des entretoises.

Sans doute, il y a eu des explosions produites par le calage des soupapes, mais ce calage doit-il être imputé au chauffeur ?

Il faudrait, il nous semble, en avoir des preuves bien certaines avant d'accuser cet ouvrier qui est, la plupart du temps, tué par l'explosion.

Voici cependant un cas que nous pouvons appeler exceptionnel.

Une chaudière cylindrique à un bouilleur avait été installée à Nicey (Côte-d'Or) par les soins du constructeur de la machine, un sieur Robert.

« Le 7 août 1846, dit le rapport officiel, la machine fut mise en « activité par le fils du mécanicien Robert, en présence du propriétaire, M. Gillon, et de son fermier, le sieur Bréjon, qui devait désor« mais être seul chargé de la conduite du feu. Le jeu de la machine « étant devenu un instant difficile, le jeune Robert n'hésita pas, pour « vaincre cette résistance momentanée, à caler les soupapes de sûreté « de la chaudière.

« Ce fut ce mauvais exemple qui détermina l'accident du 18 août.

« Effectivement, le 18 août, à onze heures du matin, le sieur Bré« jon, meunier fort intelligent, éprouvant de nouveau une résistance « dans le jeu de sa machine, ne trouva rien de mieux à faire que « d'imiter le fils du constructeur Robert; il cala avec des coins en bois « et en fer les deux soupapes de sûreté de la chaudière et revint dans « la chambre de la machine, où il ne tarda pas, en outre, à fermer le « robinet d'admission de la vapeur. Immédiatement une détonation « violente se fit entendre, l'explosion avait eu lieu. »

L'explosion d'une chaudière locomobile survenue à Commentry

(Allier), le 30 mai 1875, qui a fait trois victimes, s'est « produite peu « d'instants après le moment où l'on a mis la chaudière en feu pour la « première fois depuis son installation et alors que le *propriétaire* « venait de caler une des soupapes pour arrêter une fuite qui s'y était « déclarée ».

Les circonstances de l'explosion d'une chaudière locomobile qui s'est produite le 10 septembre 1888, à Ciron (Indre), sont très instructives à cet égard.

« Le chauffeur ne réussissant pas à faire démarrer la batteuse, dit « le rapport officiel, a fait tomber les courroies de transmission et « activé le feu pour faire monter la pression. La chaudière a volé en « éclats dans toutes les directions..... Huit hommes ont été tués sur « le coup et un mortellement blessé ; quatre autres blessés. Dégâts « matériels peu importants. »

Cause : « Excès de pression, imputable à l'imprudence et à l'inex- « périence du chauffeur et de l'entrepreneur de battage. Le manomètre « était faussé et les deux soupapes de sûreté calées. »

Or, il résulte de l'enquête, faite à cette occasion, par les Ingénieurs des Mines et rapportée par M. Olry, Ingénieur en chef des Mines, dans une note à la Commission centrale, que, si le manomètre a été faussé, peut-être par l'effet de l'explosion, il n'y a aucune certitude sur le calage des soupapes ; au contraire, des témoins affirment que les soupapes crachaient, ce qui exclut le calage, et il a été reconnu, d'ailleurs, que le propriétaire, M. Lamoureux, « s'était littéralement suspendu « aux leviers des soupapes pour s'opposer à la sortie de la vapeur. C'est « même à ce moment que l'explosion s'est produite. »

Du reste, les soupapes auraient été retrouvées calées après l'explosion.

Sans doute, il y a eu surpression, et peut-être surpression considérable, mais nous devons faire remarquer ici que c'est le propriétaire lui-même, M. Lamoureux, qui est l'auteur de cette surpression et qui a assurément ordonné le calage, s'il a réellement existé.

« Les effets de cette explosion ont été terribles : huit hommes parmi « lesquels le mécanicien et l'entrepreneur de battage, grièvement brû- « lés par la vapeur ou atteints par des fragments de locomobile, ont été « tués. Les corps des victimes ont été en général projetés à de grandes « distances ; ceux du sieur Lamoureux et d'un autre ouvrier, lancés « contre la porte de la grande cour..... l'ont défoncée. Il y a eu, en « outre, cinq blessés. Quatre d'entre eux, dont l'un a succombé, ont « simplement subi des brûlures plus ou moins graves ; le cinquième,

« un enfant, a été projeté à une vingtaine de mètres, et a été renversé « si violemment qu'il a eu les deux cuisses brisées. »

Si le calage des soupapes de sûreté était, réellement, le fait du chauffeur agissant à l'insu de l'exploitant, il serait bien simple de l'empêcher, en employant le manomètre enregistreur ou simplement le manomètre *a maxima*.

« On a proposé, dit M. Callon, Inspecteur général des Mines, pour « éviter ces manœuvres imprudentes, les manomètres *a maxima* qui « conservent une trace permanente de ces surcharges accidentelles et « permettent ainsi de contrôler les chauffeurs. Mais ces appareils, que « les règlements n'imposent pas, ne se sont pas répandus dans la pra- « tique. »

Mais pour quelle raison n'emploie-t-on pas ces appareils si simples? M. Couche, Inspecteur général des Mines, le dit en ces termes :

« Si les dispositions de ce genre sont tombées peu à peu en désué- « tude, ce n'est pas du tout qu'on ait reconnu leur inutilité, c'est par « suite d'une sorte d'entente. Les moyens de contrôle, qui naturelle- « ment déplaisent à ceux qui les subissent, ne déplaisent guère moins « parfois à ceux qui les exercent. »

C'est-à-dire qu'en réalité, si les soupapes de sûreté sont calées, c'est par l'ordre de l'industriel, ou, tout au moins, avec son assentiment.

Au surplus, ainsi que nous l'établissons ailleurs, l'Administration manque de prudence en réduisant le rôle de la soupape de sûreté à la fonction de simple avertisseur automatique de l'excès de pression.

Si les constructeurs se bornaient à suivre, à l'égard des soupapes, les prescriptions du Décret du 30 avril 1880, il serait impossible, dans la pratique, de ne pas dépasser la pression indiquée par le timbre ; et, en cas d'arrêt subit de la machine ou dans toutes circonstances analogues, la pression de la chaudière s'élèverait rapidement et occasionnerait une explosion par excès de pression, comme si les soupapes étaient effectivement surchargées ou calées.

Le chauffeur doit, de temps en temps, ouvrir le robinet de purge du manomètre pour éviter que le tuyau ne s'engorge ; c'est la seule action qu'il puisse avoir sur le fonctionnement de cet appareil.

Quant aux clapets de retenue, la plupart d'entre eux, ne possédant pas de moyens de contrôle visibles, il est bien difficile au chauffeur de s'assurer de leur fonctionnement.

Outre les soins journaliers qu'il donne à la chaudière, le chauffeur doit encore faire le nettoyage intérieur ou y présider. Ce nettoyage ne peut être effectué que lors des arrêts du dimanche ou des jours fériés. On lui attribue la responsabilité de ce nettoyage, aussi bien que celle de toutes les réparations faites à la chaudière ou au fourneau.

Nous avons montré que le travail du chauffeur était aussi pénible qu'important. Il paraît donc indispensable pour la sécurité publique, de ne charger de cet emploi que des hommes connaissant bien leur métier.

Il n'en est pas toujours ainsi : le chauffeur, ne faisant pas un travail productif ou rémunérateur pour l'industriel, est, la plupart du temps, considéré comme constituant une charge ou une dépense inutile ; on lui marchande son salaire, et trop souvent l'homme que l'on préfère est celui qui se contente du gain le moins élevé.

On prépose quelquefois au chauffage des chaudières de simples manœuvres ou d'incapables domestiques, sans aucune préparation préalable ; il en résulte naturellement des accidents, ainsi qu'il a été officiellement constaté, notamment lors de l'explosion du 26 juin 1870, survenue à une chaudière à deux bouilleurs d'un moulin à Mèves (Nièvre).

Nous avons même vu plusieurs fois des femmes absolument incapables faire fonctions de chauffeurs.

Très souvent enfin on impose au chauffeur des services auxiliaires indépendants de la chaudière et de la machine, ou bien on lui confie, à vil prix, certains travaux dits à façon.

C'est très regrettable non seulement en raison des accidents qui peuvent en résulter, mais encore par suite du surcroît de consommation de combustible qui en est une conséquence inévitable.

Un bon chauffeur économise largement le salaire qu'on lui donne.

L'usinier se retranche parfois derrière l'impossibilité où il se trouve de reconnaître la valeur d'un chauffeur. On a, à plusieurs reprises, proposé d'exiger de ces ouvriers des certificats de capacité.

Il ne nous paraît pas que ceux qui ont été délivrés jusqu'ici soient bien sérieux.

Pour certains services, notamment pour ceux des bateaux à vapeur et des tramways, on exige que les mécaniciens soient commissionnés. Ces Commissions sont délivrées à la suite d'examens passés devant certains fonctionnaires désignés par l'Administration.

Nous avons été chargé, pendant de nombreuses années, de ces examens, et nous les avons fait subir suivant les instructions qui nous

ont été données. Il nous est donc bien facile de déclarer que ces examens constituent une pure formalité, et que la valeur de cette Commission est absolument nulle en ce qui concerne du moins la conduite du feu et les moyens propres à éviter les explosions. Il est plus facile à un médiocre ajusteur de se faire commissionner qu'à un bon chauffeur.

Depuis quelques années, il se fait dans plusieurs régions, notamment dans le département de la Seine, des cours oraux pour les chauffeurs ; des examens suivent ces cours et certains certificats sont délivrés. Nous ne pouvons, en parfaite connaissance de cause, nous prononcer sur la valeur de ces certificats, mais les cours, tels qu'ils sont faits, n'ont pas notre approbation.

A la suite de conseils donnés dans un cours de ce genre, un chauffeur avait fait adopter, par son patron, un système d'appareil indicateur du niveau de l'eau dont le fonctionnement demande certaines précautions et certaines manœuvres qu'un cours oral ne pouvait pas faire connaître suffisamment.

Peu de temps après l'installation de l'appareil, la chaudière que conduisait ce chauffeur fit explosion par suite de manque d'eau, et cet ouvrier fut brûlé.

Nous ne croyons pas que les chauffeurs puissent reconnaître la valeur d'un combustible par sa teneur en carbone, en hydrogène, etc.; c'est par sa valeur sur la grille, par l'éclat de sa combustion, par la quantité de cendres ou de mâchefer qu'il produit qu'il s'en rendra compte.

L'explication de certains phénomènes, obtenus dans des expériences de laboratoires, comme la caléfaction ou état sphéroïdal, l'eau surchauffée, etc., est souvent mal comprise par eux, et, les induisant en erreur, peut devenir nuisible.

Lors d'une explosion que nous avons eu à instruire il y a quelques années et qui a fait deux victimes, le chauffeur, qui n'avait pas été atteint, crut devoir nous prévenir tout d'abord que « la cause certaine « de l'explosion était l'état sphéroïdal. Je suis lauréat de cours et je « connais fort bien la question, a-t-il ajouté ; il n'y a rien à faire pour « éviter un pareil accident quand il doit se produire ! »

Pour nous, la valeur du chauffeur se reconnaît uniquement devant la grille, la pelle à la main ; elle réside dans le chauffage, le décrassage, le jeu du registre, l'alimentation, la surveillance et l'entretien des appareils de sûreté, et dans toutes les opérations pratiques qui engendrent ou accompagnent la production de la vapeur ; c'est, les yeux

fixés sur le manomètre et les indicateurs du niveau de l'eau, qu'il doit régler l'allure de sa chaudière suivant les exigences de la machine ; et ce n'est que devant le générateur, muni des appareils de sûreté en marche, qu'on peut initier les chauffeurs aux diverses fonctions qu'ils sont appelés à remplir.

Des faits et des observations qui précédent, nous pouvons conclure que, s'il est d'une nécessité absolue de ne confier les fonctions de chauffeur qu'à un homme possédant le savoir et l'expérience nécessaires, cependant, par suite de l'insuffisance et même des défauts des appareils de sûreté actuellement en usage, le chauffeur, quelle que soit sa valeur, quelle que soit son expérience, peut être induit en erreur.

C'est donc commettre une grave injustice que d'attribuer une explosion à l'incurie du chauffeur, lorsque cette négligence n'est pas démontrée par des preuves irréfutables.

Enfin, personnellement, nous estimons que le meilleur moyen de former un corps de chauffeurs intelligents, capables et expérimentés, c'est de leur donner un salaire en rapport avec l'importance de leurs fonctions.


89089673891
B89089673891A

